ISSN 2079-3316 ПРОГРАММНЫЕ СИСТЕМЫ: ТЕОРИЯ И ПРИЛОЖЕНИЯ №2(29), 2016, с. 105–125

УДК 332.1

В. И. Гурман, И. В. Расина, А. О. Блинов, И. С. Гусева,
Н. Э. Кульбака, О. В. Фесько

Возможности применения математических моделей и методов к исследованию проблем устойчивого развития регионов на примере арктической зоны

Аннотация. Статья посвящена анализу Арктической зоны Российской Федерации как сложной социо-эколого-экономической системы, требующей модельного анализа.

Ключевые слова и фразы: социо-эколого-экономическая модель, устойчивое развитие, Арктика.

Введение

Арктика – это северная околополюсная область земного шара, включающая Северный Ледовитый океан с входящими в его состав морями и островами, а также окружающие его окраины материков Евразии и Северной Америки [1].

Как правило, для определения границ и размеров региона используются географические, климатические, этнические, социально-культурные, религиозные и государственно-административные основания, поэтому можно говорить о множественности подходов к понятию «Арктика» и часто используемым синонимам «Север» и «Заполярье». В результате в литературе существует несколько десятков вариантов проведения южной границы Арктики.

Отсутствие единой концепции границы Арктики определяет целесообразность создания единой схемы моделирования арктического региона на основе разработки системы его устойчивого развития.

Работа выполняется при поддержке РФФИ, грант №15-29-06945_офи_м.

© В. И. Гурман[1], И. В. Расина[2], А. О. Блинов[3], И. С. Гусева[4], Н. Э. Кульбака[5], О. В. Фесько[6], 2016
© Институт программных систем имени А. К. Айламазяна РАН, Институт проблем управления имени В. А. Трапезникова РАН[1], 2016
© Институт программных систем имени А. К. Айламазяна РАН[2, 3, 5, 6], 2016
© Бурятский государственный университет[4], 2016
© Программные системы: теория и приложения, 2016

Методологической основой при анализе Арктики выступает междисциплинарная модель региона, состоящая из следующих подсистем:

Экономическое пространство Разведка, добыча и транспортировка экономически используемых природных ресурсов. Трансконтинентальные транспортные морские, подводные и воздушные магистрали, высокоширотные трассы. Арктические инфраструктура и логистика, включающие Северный морской путь вдоль берегов России и Северо-Западный проход у побережия Канады. Суммарный объем ВВП приарктических стран составлял в 2014 году почти $24 триллиона или около 22% от ВВП всего мира ($108 триллионов) по паритету покупательной способности.

Социальная сфера и социальная инфраструктура Накопление человеческого капитала, уровень и качество жизни в суровых условиях арктической природной среды, развитие образования и здравоохранения, социальные гарантии государства.

Природа и экология Сюда относятся запасы природных ресурсов, углеводородов, минерального сырья, пресной воды, их разведка, добыча, транспортировка, биологическое разнообразие фауны и флоры. Восемь приарктических государств занимают 40,3 млн км^2 или более 26% всей земной суши. При региональном подходе, включающем только высокие широты внутри приарктических стран, территория их арктической зоны составляет 12,5 млн км^2, то есть менее одной трети от общей площади суши восьми приарктических стран или более 8% суши всей Земли. Площадь акватории Северного Ледовитого океана (СЛО) равна 14,75 млн км^2.

Таким образом, Арктика представляет собой сложную социо-эколого-экономическую систему, требующую междисциплинарного подхода как в науке, так и в политике, экономике, экологии, праве, социальной сфере, управлении. При этом большое значение имеют надежные оперативные оценки экологического состояния акваторий, необходимые для его прогнозирования и проведения эффективных мероприятий по ликвидации последствий возможных техногенных аварий, в частности, разливов нефти. Для получения таких оценок необходим системный подход к методике сбора и анализа данных.

1. Границы Арктики

Определение численности населения субъектов Арктической зоны Российской Федерации (АЗРФ), их валового регионального продукта (ВРП) и доли в общероссийских показателях сегодня является

Таблица 1. Специализация районов Арктики в 2012 г. по объему отгруженных товаров, работ и услуг, выполненных собственными силами, % [2]

Регионы	Добыча полезных ископаемых	Обрабатывающие производства	Энергетика[a]
Магаданская обл.	72.2	8.3	19.5
Ненецкий АО	98.4	0.6	1.0
Республика Саха	82.0	6.1	11.9
Ямало-Ненецкий АО	85.2	10.9	3.9

[a]Производство и распределение электроэнергии, газа и воды

достаточно сложной задачей.

Проект Государственной программы «Социально-экономическое развитие Арктической зоны Российской Федерации на период до 2020 года» (сокращённо — ГП «АЗРФ-2020») был представлен 04.11.2013 г. на общественное обсуждение на едином портале для размещения информации о разработке федеральными органами исполнительной власти проектов нормативных правовых актов и результатов их общественного обсуждения [3]. В рамках проекта указанной выше госпрограммы к составу АЗРФ были отнесены территории семи субъектов РФ:

(1) Мурманская область,
(2) Архангельская область (Онежский, Приморский, Мезенский муниципальные районы, городские округа Архангельск, Северодвинск, Новодвинск, о. Новая Земля),
(3) Ненецкий автономный округ,
(4) Ямало-Ненецкий автономный округ,
(5) Красноярский край (Таймырский (Долгано-Ненецкий) муниципальный район, городской округ Норильск, Туруханский муниципальный район),
(6) Республика Саха (Якутия) (Аллаиховский, Анабарский, Булунский, Нижнеколымский, Усть-Янский районы или улусы),
(7) Чукотский автономный округ.

Таблица 2. Инвестиции в социально-экономическое развитие субъектов РФ [4]

Субъекты РФ	Инвестиции в основной капитал, млрд руб., *ниже — иностранные инвестиции, млн долл.*			
	2007	2008	2009	2010
Мурманская обл.	25.9 *62.5*	45.6 *55.0*	41.3 *62.3*	35.0 *98.5*
Ненецкий АО	88.6 *795.6*	75.8 *1360.5*	34.4 *483.3*	38.5 *537.1*
Чукотский АО	5.3 *211.1*	8.8 *403.0*	13.2 *468.8*	4.4 *25.5*
Ямало-Ненецкий АО	269.5 *390.0*	400.2 *913.6*	339.7 *1055.9*	387.7 *724.1*

1.1. Экономическая подсистема

Пространственное распределение арктических регионов России в существующей классификации имеет явно выраженную специализацию: добыча полезных ископаемых доминирует во всех регионах, и только в Магаданской обл. она составляет менее трех четвертей от общего объема отгруженных товаров и услуг, выполненных собственными силами, но все равно по удельному весу она преобладает (таблица 1). Можно отметить, что если в целом по Российской Федерации первая группа составляет лишь около 20%, то по северным территориям она приближается к 70%, а в Арктике – превышает 80%.

Объем инвестиций в арктические регионы позволяет говорить об их высоком экономическом потенциале, хотя их объем во многом зависит от государственной политики и не связан напрямую с их прибыльностью (таблица 2).

2. Природная подсистема

2.1. Нефтегазовые месторождения

Нефтегазовые месторождения образуют ряд провинций на суше (такие, как Тимано-Печорская, Западно-Сибирская, Аляскинская и др.) и бассейн на территории шельфа. Судя по последним данным [5], арктический шельф является также огромным нефтегазоносным бассейном, предполагаемая емкость которого составляет около 100 млрд т. условного топлива в нефтяном эквиваленте (таблицы 3-4).

Таблица 3. Оценка потенциальных извлекаемых ресурсов нефти и газа акваторий Арктики и Субарктики [5]

Регион	Нефть, млрд т	Газ, трлн м^3
Арктика	**20.0–46.0**	**36.5–83.0**
Россия	*11.0–24.0*	*25.5–57.0*
Баренцево	3.0–8.0	9.0–13.0
Карское	5.0–6.0	10.0–30.0
Лаптевых	0.5–2.0	1.5–2.0
Восточно–Сибирское	2.0–6.0	3.5–8.0
Чукотское	0.5–2.0	1.5–4.0
Субарктика	**7.0–20.0**	**6.0–17.5**
Россия	*3.5–8.5*	*30–6.5*
Охотское	2.5–7.0	2.0–5.0
Берингово	1.0–1.5	1.0–1.5

Таблица 4. Потенциальные ресурсы и извлекаемые запасы газа месторождений Баренцево-Карской провинции (в трлн. м^3) [1]

Месторождение	Потенциальные ресурсы	Извлекаемые запасы
Штокмановское	3.2	2.54
Ленинградское	3.0	1.05
Русановское	3.0	0.78

При этом 70% разведанных на территории России запасов природного газа (47.2 трлн м^3) сосредоточено в Ямало-Ненецком автономном округе, а добыча в том же регионе составила в 2001 г. 89% от общероссийской (585.4 млрд м^3), в том числе из Уренгойского и Ямбургского месторождений (336 млрд м^3).

Наиболее крупные месторождения нефти находятся в Западной Сибири, в Российской Субарктике, а в ее пределах — в Ханты-Мансийском (Самотлорское, Красноленинское, Салымское, Ватьеганское, Федоровское и др.) и Ямало-Ненецком (Русское, Суторминское и др.) автономных округах (таблица 5).

К сожалению, большинство разведанных крупных месторождений в настоящее время выработано не менее чем на 50–70%. При этом, за-

Таблица 5. Запасы крупнейших нефтяных и газовых месторождений Российской Арктики и Субарктики [6]

Месторождение	Нефть, млн т, A+B+C_1	Газ. млрд $м^3$, ресурсы
Самотлорское	1375	-
Приобское	746.2	106.4
Комсомольское	812.9	10.3
Харвутинское	885.6	31.0
		Запасы, трлн $м^3$
Уренгойское		7.29
Ямбургское		4.78
Заполярное		3.53
Медвежье		0.61
Бованенковское		4.92
Харасавейское		1.62
Юрубчено-Тохомское		0.70

траты на добычу будут только возрастать, поскольку более половины запасов нефти Западно-Сибирской нефтегазовой провинции относятся к категории трудно извлекаемых [7].

2.2. Угольные месторождения

Угленосные отложения широко распространены на территории Российской Арктики. В западной части Российской Арктики расположены Печорский и Сосьвинско-Салехардский район, в центральной – Таймырский и Тунгусский (в том числе Норильский угленосный бассейн), Анабаро-Хатангский и Оленекский районы Ленского бассейна, Зыряновский и Анадырский бассейны Восточной Арктики.

Кондиционные прогнозные ресурсы углей (P_1+P_2+P_3) в недрах АЗР превышают 1 млрд т, из них более 100 млн т относится к категории коксующихся углей. Однако степень разведанности месторождений угля очень низкая: запасы составляют 1.8-2.3% от кондиционных ресурсов. Наиболее освоенным является Печорский бассейн. Его прогнозные ресурсы на 01.01.1993 г. составляли 224.9 млрд т угля, а разведанные и предварительно оцененные запасы - 8.7 млрд т (5.4% от общероссийских), в том числе коксующихся марок соответственно 33.7 и 3.5 млрд т [8].

Таблица 6. Запасы (с учетом извлеченных) цветных металлов в месторождениях Арктики и Субарктики, тонн [9]

Месторождение (район)	Никель	Медь	Кобальт	МПГ
Норильский	23201	46728	801	12438
Печенга	4000	2150	152	107

2.3. Цветные металлы

Широкое распространение имеют никель, медь, кобальт и металлы платиновой группы (МПГ). Более 85% разведанных запасов никеля Арктической зоны России сосредоточено в Норильской группе месторождений, остальные — в Кольской (таблица 6). В последней на учете состоит восемь месторождений [10].

2.4. Алмазы

Месторождения алмазов в Арктике в настоящее время обнаружены на территории России, Канады и Финляндии. В России крупнейшими алмазоносными провинциями являются Якутская и Архангельская [11, 12].

По разведанным запасам алмазов Россия занимает лидирующее положение в мире. Качество алмазов в месторождениях нашей страны в среднем сопоставимо с таковым в большинстве объектов мира, но содержание их, как правило, выше [13]. Лицензии на разработку алмазов в Якутской провинции, так же, как и в большинстве других объектов, принадлежат АК «Алроса» или ее родственным структурам. На территории Республики Саха (Якутия) АК «Алроса» эксплуатирует 9 коренных и 6 россыпных месторождений алмазов. Общий объем алмазодобычи в 2003 г. составил 33 019 тыс. кар., стоимостью 1676 млн долл., а в первом полугодии 2004 г. — 17763 тыс. карат (948 млн долл. США). Это составляет 15-20% общей стоимости основных видов добываемых в России твердых полезных ископаемых, что сопоставимо с никелевыми и железными рудами [6]. Ниже (таблица 7) приведены общие данные по месторождениям алмазов в Якутии.

2.5. Месторождения фосфора

Основным видом фосфорного сырья в мире являются фосфориты, в меньшей мере — апатиты. Последние преобладают в Северной По-

Таблица 7. Минеральные ресурсы группы компаний «АЛРОСА», классифицированные в соответствии с требованиями кодекса JORC, на 01.07.2013 г. [14]

Категория ресурсов	Вес руды/песков (тыс. тонн)	Содержание алмазов (кар/т)	Вес алмазов (тыс. карат)
Измеренные	4 820	1,52	7 329
Выявленные	467 197	1,41	657 477
Измеренные + Выявленные	472 017	1,41	664 806
Предполагаемые	232 298	1,33	308 235

лярной области Земли, в основном в России. Причем большая часть разведанных запасов апатита (более 4 млрд т P_2O_5), приходится на уникальные месторождения Хибинской группы (таблица 8). Более чем за 70 лет их эксплуатации выпущено свыше 500 млн т апатитового концентрата.

2.6. Золото

Месторождения золота установлены повсеместно в пределах Арктики. Так, в Российской Арктике основные запасы золота сконцентрированы в месторождениях Восточной Арктики, в Яно-Чукотской и Колымско-Магаданской провинциях (Кючусское — 253 т, среднее содержание 8.7 г/т ; Нежданинское — 523 т, 5.0 г/т ; Хаканджанское — 55 т, 6.9 г/т; Джульетта — 49 т, 30.7 г/т; Эвенкское — 52 т, 8.7 г/т; Совиное — 12 т, 10.0 г/т ; Валунистое — 125 т, 10.5 г/т; Майское — 277 т, 12.0 г/т; Аметистовое — 103 т, 15.0 г/т; Асачинское — 416 т, 19.0 г/т; Агинское — 95 т, 20.0 г/т; Родниковое — 70 т, 11 г/т; Кубака — менее 100 т, до 20 г/т и др. [15].

2.7. Серебро

Российский сегмент Арктики обладает серьезными запасами серебра: в золото-серебряных месторождениях (Майское, Клен, Валунистое, Капелька, Энмываямский рудный район, сопка Двойная, Хаканджинское, Кубака), комплексных (Талнахское, Октябрьское, Норильское, Печенгское и ряд других объектов) и существенно серебряных. К последним относятся Прогноз, Мангазейское (Якутия), Дукат, Лунное и др. Месторождение Прогноз на 1.01.2001 г. характеризовалось запасами и ресурсами по категориям С2, Р1, Р2 -7700 т серебра и более 400

Таблица 8. Запасы апатитовых руд в Арктике (млн. т) [12]

Месторождение	Балансовые запасы[a] A+B+C$_1$	C$_2$	A+B+C, январь 2001 г.	Забалансовые запасы
АО «Апатит», Хибинская группа месторождений (апатит-нефелиновые руды), *добывает* 7.8 *при проектной производительности* 3.5–3.7: *58.3* *28–30*				
Кукисвумчоррское	72.4 *500.4*		65.7 *454.2*	4.6 *152.4*
Юкспорское	98.0 *600.2*		81.7 *564.3*	3.5 *116.6*
Апатитовый Цирк	28.8 *191.5*	0.7 *5.6*	20.7 *139.1*	0.6 *18.6*
Плато Расвумчорр	108.2 *687.9*	3.6 *28.5*	55.3 *375.7*	1.5 *49.3*
Коашвинское	121.0 *728.9*	26.5 *208.0*	111.0 *661.0*	1.5 *44.0*
Ньюркпахк	17.6 *125.2*	1.2 *8.4*	12.7 *88.1*	1.0 *26.8*
В резерве:				
Олений Ручей	52.6 *325.2*	8.2 *60.3*	52.6 *325.2*	2.0 *16.8*
Эвеслогчоррское	52.2 *356.1*	1.7 *12.0*	52.2 *356.1*	
Партомчоррское	56.1 *748.3*	9.6 *129.1*	56.1 *748.3*	6.7 *238.9*
Куэльпорское				4.5 *43.8*
Итого	606.9 *4323.7*	51.5 *448.9*	507.9 *3712.1*	25.9 *707.2*
Ковдорские месторождения, АО «Ковдорский ГОК» *добывает* 0.62 *при проектной производительности* 0.61: *19.8* *16.0*				
Ковдорское железорудное, (комплексные бадделеит-апатит-магнетитовые руды)	51.9 *763.9*	3.2 *61.1*	28.3 *426.3*	4.5 *69.4*
Ковдорское техногенное	7.4 *68.2*		5.5 *50.6*	
Готовятся к освоению:				
Ковдорское техногенное	6.0			
Ковдорское апатит-штаффелитовое	8.1 *48.9*	0.3 *2.1*	8.1 *48.9*	0.8 *4.2*
Итого	67.4 *881.0*	3.5 *63.2*	41.9 *525.8*	5.3 *73.6*

[a]Снизу — *руда*, сверху — P_3O_5.

тыс. Т свинца и цинка при содержаниях соответственно 309.6-875.5 г/т, 2.42-2.91% (Pb) и 0.7-1.01% (Zn) [12].

2.8. Полиметаллы

В Российской Восточной Арктике полиметаллы встречаются в примесях руд серебряных, оловянных и ряда других месторождений. В Центральной Арктике в южной цепи гор Бырранга на Центральном Таймыре установлена Таймыроозерская зона проявлений свинцово-цинковой формации [15].

2.9. Биологические ресурсы

Важнейшими возобновляемыми ресурсами Арктики являются биологические. Так, по данным [5], до 2005 г. общий улов рыбы и нерыбных объектов в АЗР составил около 45% общероссийского (см. таблицу 9). Среди нерыбных объектов — морских млекопитающих (всего 20 видов) преобладают гренландский тюлень, тюлень-хохлач, белуха, тюлень-лысун, нарвал, морж, финвал, сейвал, кашалот, дельфин, гренландский кит. Объемы промысла морского зверя строго ограничены, а забой кита разрешен исключительно в научных целях и для нужд коренного населения.

Наибольшей ценностью среди рыбных ресурсов (всего 150 морских и пресноводных видов [5]) пользуются: краб, сельдь, треска, камбаловые, лососевые, морской окунь, сайда, пикша, минтай.

2.10. Экология Арктики

Экологическое состояние Арктики является чрезвычайно уязвимым из-за высокого уровня антропогенного воздействия и низкого уровня самовосстановления арктической экосистемы (таблицы 9-11).

Таблица 9. Динамика морского улова на территории Арктики

2000 г. Океан	2000 г. Внутр. воды	2000 г. Вместе	Регионы	2005 г. Вместе	2005 г. Внутр. воды	2005 г. Океан
4500	**300**	**4800**	**Вся Российская Федерация**	**5000**	**360**	**4640**
925.6	*7.92*	*933.52*	*Европейский Север*	*945.73*	*9.43*	*936.3*
152.0	0.3	152.3	Архангельская область, в том числе:	153.3	0.3	153.0
10.1		10.1	Ненецкий АО	10.2	—	10.2
709.0		710.0	Мурманская область	713.0	1.0	712.0
—	0.13	0.12	Коми	0.12	0.13	—
64.6	6.5	71.1	Карелия	79.3	8.0	71.3
	10.25	*10.25*	*Сибирский Север*	*11.86*	*11.86*	
—	4.1	4.1	Тюменская область, в том числе:	5.0	5.0	—
—	0.13	0.13	Ханты-Мансийский АО	0.17	0.17	—
	1.15	1.15	Ямало-Ненецкий АО	1.2	1.2	
1253.75	*1.40*	*1255.15*	*Север Дальнего Востока*	*1330.4*	*1.52*	*1328.89*
74.0	0.05	74.05	Магаданская область	85.05	0.05	85.0
6.0	—	6.0	Чукотский АО	6.0	—	6.0
484.0	—	484.0	Камчатская область	493.0	—	493.0
106.0	—	106.0	Корякский АО	117.0	—	117.0
—	0.77	0.77	Саха (Якутия)	0.82	0.82	—

Таблица 10. Сброс загрязненных вод в моря Северного Ледовитого океана

Сброс, млрд м^3	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
Россия — всего	27.8	28.0	27.1	27.2	24.6	24.5	22.4	23.0	22.0	20.7
Бассейн Белого моря	1.1	1.1	1.1	1.0	0.9	0.9	0.8	0.8	0.8	0.8
Бассейн Карского моря	6.2	5.9	5.5	5.3	5.0	5.2	4.7	4.4	4.2	4.1
В том числе: в бассейн р. Енисея	3.1	2.7	2.3	2.0	1.8	1.8	1.7	1.5	1.4	1.4
в бассейн р. Оби	2.8	2.9	2.9	3.0	2.9	3.1	2.7	2.6	2.5	2.5

Таблица 11. Антропогенные угрозы морским экосистемам и потенциальная роль морских и прибрежных резерватов в их предотвращении [16]

Виды и направленность угроз		Самозащита[a]
Промысел морских организмов (рыболовство,охота)	на промысловые виды	+
	на сопутствующие виды	+ (–)
	на среду обитания	+
Все виды загрязнения		– (+)
Инвазии чужеродных видов		– (?)
Прямое уничтожение, трансформация или отчуждение биотопов		+
Марикультура		+ (–)
Беспокойство		+
Туризм		+

[a]Возможности морских резерватов по предотвращению угроз:
+ ощутимы
– недостаточны
? требуют дополнительного исследования

3. Социальная подсистема

3.1. Человеческий капитал

Стратегическими ресурсами Российской Арктики являются не только природные ресурсы, нефть, газ, коммуникации, морские и воздушные пути, но и люди, человеческий капитал. Главнейший ресурс Российской Арктики сегодня составляет человеческий капитал — накопленный в результате инвестиций в человека запас знаний, здоровья, профессиональных компетенций, мотиваций. Качество жизнедеятельности населения, социальная сплоченность, проблемы накопления человеческого капитала остаются основными арктическими вызовами для современной России. Возникает угроза, что население Российской Арктики не только не сможет стать фактором модернизации, социально-экономического развития, но будет просто неспособно поддерживать инфраструктуру экономики АЗРФ даже на нынешнем, очень невысоком уровне.

Численность населения, постоянно проживающего в суровых климатических условиях Арктики, в целом невелика. Всего в Арктике проживает более полумиллиарда человек — 517 млн. или почти 7,4% от всего населения Земли в 7,0 млрд чел (таблица 12).

Из 517 млн человек восьми приарктических стран в экстремальных условиях высоких арктических широт постоянно проживает менее одного процента северян (0,88%). В России доля северян, проживающих в АЗРФ, составляет почти в два раза больше — 1,7%. Население внутренних арктических губерний, провинций, штатов, областей, автономных округов, муниципалитетов всех восьми приарктических стран составляет 4,6 млн человек, в том числе в Российской Арктике проживает 2,5 млн или более 54%, а во всех остальных семи приарктических странах — 2,1 млн. человек [**17**, стр. 28–29]. В одной Российской Арктике, таким образом, постоянно проживает больше людей, чем в арктической зоне семи других приарктических стран мира, вместе взятых. Плотность населения определяется значением 0,63 чел. на 1 км^2 [**3**].

3.2. Коренные народы регионов Арктики

Согласно ст. 1 Федерального закона «Об общих принципах организации общин коренных малочисленных народов Севера, Сибири и Дальнего Востока Российской Федерации» [**18**] «коренные малочисленные народы Севера, Сибири и Дальнего Востока Российской

Таблица 12. Население внутренних арктических регионов, тыс. чел. [19]

Арктические регионы		Население
Мурманская область		796,1
Архангельская область:	МО в Беломорье, острова в СЛО	661,8
Ненецкий автономный округ		42,6
Республика Карелия:	три МО на побережье Белого моря	51,6
Республика Коми:	городской округ Воркута	95,8
Ямало-Ненецкий автономный округ		522,8
Красноярский край:	Таймырский МР, Норильск, Игарка	216,8
Республика Саха (Якутия) – 11 улусов		64,7
Чукотский автономный округ		50,5
Итого в Российской Арктике		**2 502**
США:	Аляска	710
Норвегия:	Финмарк, Тромс, Нурланн, Шпицберген	466
Исландия		311
Швеция:	Норботтен	260
Финляндия:	Лапландия	184
Канада: Северо-Западные территории, Юкон, Нунавут, Нунавик		120
Дания:	Гренландия	58
Итого в 7 приарктических странах		**2 109**
	Всего в Арктике:	**4 611**

Федерации — это народы, ... проживающие на территориях традиционного расселения своих предков, сохраняющие традиционные образ жизни, хозяйствование и промыслы, насчитывающие менее 50 тысяч человек и осознающие себя самостоятельными этническими сообществами». В таблице 13 представлена демография коренных малочисленных народов Севера России [20].

4. Космический мониторинг и его возможности

Основными задачами космического мониторинга арктической территории РФ выступают [21]:

- рациональное использование и охрана недр в зонах воздействия нефтегазовой и горнодобывающей промышленности при освоении минерально-сырьевых ресурсов суши и шельфа;

Таблица 13. Естественное движение коренных малочисленных народов Севера России (на 1000 населения)

Периоды	Родившиеся живыми	Умершие	Естественный прирост	Младенческая смертность
1984–1988	30,2	10,5	19,7	41,1
1989–1993	25,7	10,8	14,8	30,4
1994–1998	19,8	12,6	7,2	32,5
1999–2002	17,6	11,7	5,9	27,6

- поиски новых месторождений нефти, газа и твердых полезных ископаемых, в том числе и нетрадиционных;
- охрана, контроль и прогноз изменений напряженных экологических систем городских агломераций, производственно-территориальных комплексов;
- оценка динамики и разработка прогнозов опасных природных, природно-антропогенных и антропогенных процессов в пределах сложившейся и перспективной хозяйственной деятельности.

При этом наиболее отработанными являются способы применения космического мониторинга для анализа природных ресурсов [**22**]:

- лесные ресурсы — определение уровня антропогенных воздействий;
- водные ресурсы — исследование динамики русловых процессов рек и комплексного загрязнения вод;
- земельные ресурсы — оценка состояния почвы и рельефа (степень эрозии, увлажненности и загрязнения);
- животный мир — исследование кормовой базы и распространение факторов беспокойства у поселений и промышленных объектов;
- геологическая среда — оценка влияния процессов в районах инженерных сооружений, в т. ч. в зонах вечной мерзлоты, ландшафтно-геохимическое районирование территорий и изучение миграции загрязнений;
- климат — изучение последствий динамики климата и озонового слоя, разработка сценариев развития и оценка воздействия на окружающую среду;
- состояние ледовой обстановки:
  - прокладка курса судов;
  - картографирование льдов;

– наблюдение за состоянием снежного покрова.

5. Возможности использования социо-эколого-экономического моделирования территории Арктики

Особенностью арктической территории являются ограниченность собираемой информации, ее фрагментарность и неполнота. Дополнительным моментом является свойство, присущее данной системе — ее контринтуитивность, в силу ее сложности и протяженности.

При этом большое значение имеют надежные оперативные оценки экологического состояния акваторий, необходимые для его прогнозирования и проведения эффективных мероприятий по ликвидации последствий возможных техногенных аварий, в частности, разливов нефти. Для получения таких оценок необходим системный подход к методике сбора и анализа данных.

Для решения подобных задач традиционно применяется информационно-компьютерный инструментарий комплексного анализа состояния и определения стратегий устойчивого развития регионов как социо-эколого-экономических систем [**23**].

В настоящее время авторским коллективом разработаны методология и инструменты математического моделирования; прикладные задачи и модели управления социальными, экологическими и экономическими системами в регионе. Предлагаемые методы оптимизации стратегии развития региона на многокомпонентной модели учитывают ограничения на восстановительные мощности природной среды, социальной сферы и на инновационные возможности. В результате находится магистральное решение как приближенное глобально оптимальное. Общий подход состоит в поиске и исключении пассивных связей из математической модели, в результате чего исходная задача заменяется точно или приближенно регулярной производной задачей, имеющей меньший порядок.

В качестве инструмента используется агрегированная версия модели региона, отражающая взаимодействие трех секторов — производственного, инновационного и социо-природо-восстановительного. На этой модели успешно исследована задача оптимизации стратегий устойчивого развития региона при идеализированных допущениях с целью оценки предельно допустимых затрат на инновационную деятельность в условиях дефицита статистических данных в терминах

затраты–результаты. Предполагается использование данной модели для анализа развития Актического региона России.

Список литературы

[1] Д. А. Додин. *Устойчивое развитие Арктики (проблемы и перспективы)*, Наука, СПб, 2005. ↑ 105,109

[2] А. И. Татаркин, В. Г. Логинов. «Оценка природно-ресурсного и производственного потенциала северных и арктических районов: состояние и перспективы использования», *Проблемы прогнозирования*, 2015, №1, с. 33–44. ↑ 107

[3] Проект Государственной программы «Социально-экономическое развитие Арктической зоны Российской Федерации на период до 2020 года», 4 ноября 2013 г. (Дата обращения: 12.12.2015), URL: http://programs.gov.ru/opendata/7710349494-project39/ ↑ 107,117

[4] «Основные показатели социально-экономического положения субъектов Российской Федерации в 2007, 2008, 2009 и 2010 гг.», *Российская газета*, 16 март 2011. ↑ 108

[5] И. М. Могилевкин (ред.). *Арктика: интересы России и международные условия их реализации*, Наука, М., 2002. ↑ 108,109,114

[6] А. А. Смыслов, Н. В. Межеловский, А. Ф. Морозов. *Недра России.* Т. 1: *Полезные ископаемые*, СПБГИ, СПб, 2001. ↑ 110,111

[7] А. Э. Конторович, В. П. Орлов, В. С. Сурков (ред.). *Геология и полезные ископаемые России.* Т. 2: *Западная Сибирь*, ВСЕГЕИ, СПб, 2000. ↑ 110

[8] А. П. Боровинских. «Топливно-энергетический потенциал Европейского Севера России», *Минеральные ресурсы России. Экономика и управление*, 1998, №1, с. 15–19. ↑ 110

[9] А. Д. Налдретт. *Магматические сульфидные месторождения медно-никелевых и платинометальных руд*, СПБГУ, СПб, 2003. ↑ 111

[10] Б. В. Афанасьев, Н. М. Бичук, А. Д. Даин и др. «Минерально-сырьевая база Мурманской области», *Минеральные ресурсы России. Экономика и управление*, 1997, №3, с. 17–22. ↑ 111

[11] Д. А. Додин, В. В. Сурков (ред.). *Российская Арктика: геологическая история, минерагения, геоэкология*, ВНИИОкеангеология, СПб, 2002. ↑ 111

[12] В. А. Коровкин и др. *Недра Северо-Запада Российской Федерации*, ВСЕГЕИ, СПб, 2003. ↑ 111,113,114

[13] *Минеральные ресурсы мира на начало 2001 г.*, ИАЦ «Минерал», ГНПП «Аэрогеология», М., 2002. ↑ 111

[14] *Отчет независимых экспертов о запасах и ресурсах месторождений алмазов Группы компаний «Алроса»*, Майкон Интернэшнл Ко Лимитед, Великобритания, 17 сентября 2013 г. ↑ 112

[15] Б. И. Беневольский. *Золото России*, ООО «Геоинформцентр», М., 2002. ↑ 112,114

[16] В. А. Спиридонов, М. В. Гаврило, Е. Д. Краснова, Н. Г. Николаева (ред.). *Атлас биологического разнообразия морей и побережий российской Арктики*, WWF России, М., 2011. ↑ 116

[17] Д. А. Додин. *Металлогения Таймыро-Норильского региона*, Наука, СПб, 2002. ↑ 117

[18] *Об общих принципах организации общин коренных малочисленных народов Севера, Сибири и Дальнего Востока Российской Федерации*, Федеральный закон от 20.07.2000 № 104-ФЗ (ред. от 28.12.2013) (дата обращения: 14.11.2015), URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_27908/ ↑ 117

[19] Ю. Ф. Лукин. *Российская Арктика в изменяющемся мире*, ИПЦ САФУ, Архангельск, 2013. ↑ 118

[20] Б. А. Ревич (ред.). *Влияние глобальных климатических изменений на здоровье населения Российской Арктики*, Отчет по проекту ООН, 2008. ↑ 118

[21] Ю. Г. Кутинов, К. Г. Боголицын, З. Б. Чистова, *Исследования северных территорий Земли из космоса: проблемы, свойства, состояние, возможности на примере МКС-Арктика*, В 3-х томах, УрО РАН, Екатеринбург, 2012. ↑ 118

[22] Ю. Г. Кутинов, С. Г. Копосов. «Возможности и перспективы развития центра космического мониторинга Арктики САФУ для решения задач рационального природопользования», *Альманах Пространство и Время*, 2013, №1, с. 19. ↑ 119

[23] В. И. Гурман, Е. В. Рюмина (ред.). *Моделирование социо-эколого-экономической системы региона*, Наука, М., 2001. ↑ 120

Рекомендовал к публикации *д.т.н. В. М. Хачумов*

Пример ссылки на эту публикацию:

В. И. Гурман, И. В. Расина, А. О. Блинов, И. С. Гусева, Н. Э. Кульбака и др. «Возможности применения математических моделей и методов к исследованию проблем устойчивого развития регионов на примере арктической зоны», *Программные системы: теория и приложения*, 2016, **7**:2(29), с. 105–125.

URL: http://psta.psiras.ru/read/psta2016_2_105-125.pdf

Об авторах:

Владимир Иосифович Гурман

Область научных интересов: теория управления, методы оптимизации, системный анализ

e-mail: vig70@mail.ru

Ирина Викторовна Расина

специалист в области моделирования и управления гибридными системами, автор и соавтор более 100 статей и 5 монографий

e-mail: irinarasina@gmail.com

Александр Олегович Блинов

Область научных интересов: теория управления, методы оптимизации, многомерная аппроксимация, моделирование динамических систем.

e-mail: aleblinov@yandex.ru

Ирина Сергеевна Гусева

Область научных интересов: приближенные методы в теории управления

e-mail: ig_19@mail.ru

Николай Элиарович Кульбака

Область научных интересов: региональная экономика, социо-эколого-экономическое моделирование

e-mail: nkulbaka@yandex.ru

Олесь Владимирович Фесько

Область научных интересов: приближенные методы оптимального управления, достаточные условия оптимальности, дискретно-непрерывные модели

e-mail: oles.fesko@live.com

Vladimir Gurman, Irina Rasina, Alexandr Blinov, Irina Guseva, Nikolay Kulbaka, Oles Fesko. *Possibilities of mathematical models and methods application to study of regional sustainable development problems on the case of the Arctic zone.*

Abstract. The article analyzes the Russian Arctic as a complex socio-ecological-economic system, which requires the analysis of the model (*In Russian*).

Key words and phrases: socio-ecological-economic model, sustainable development, the Arctic.

References

[1] D. A. Dodin. *Sustainable development of the Arctic (problems and perspectives)*, Nauka, SPb, 2005 (in Russian).

[2] A. I. Tatarkin, V. G. Loginov. "Estimation of potential for natural resources and production in northern and Arctic areas: Conditions and prospects for use", *Problemy prognozirovaniya*, 2015, no.1, pp. 33–44 (in Russian).

[3] Draft State Program of Social and Economic Development of the Russian Arctic in the period up to 2020, 4 noyabrya 2013 g. (Data obrashcheniya: 12.12.2015) (in Russian), URL: http://programs.gov.ru/opendata/7710349494-project39/

[4] "The main indicators of socio-economic situation of subjects of the Russian Federation in 2007, 2008, 2009 and 2010 years", *Rossiyskaya gazeta*, 16 mart 2011 (in Russian).

[5] I. M. Mogilevkin (red.). *The Arctic: the interests of Russia and the international conditions for their implementation*, Nauka, M., 2002 (in Russian).

[6] A. A. Smyslov, N. V. Mezhelovskiy, A. F. Morozov. *Subsoil of Russia.* V. 1: *Minerals*, SPBGI, SPb, 2001 (in Russian).

[7] A. E. Kontorovich, V. P. Orlov, V. S. Surkov (red.). *Geology and mineral resources of Russia.* V. 2: *Western Siberia*, VSEGEI, SPb, 2000 (in Russian).

[8] A. P. Borovinskikh. "Energy potential of the European North of Russia", *Mineral'nyye resursy Rossii. Ekonomika i upravleniye*, 1998, no.1, pp. 15–19 (in Russian).

[9] A. D. Naldrett. *Magmatic Sulfide Deposits of Nickel-Copper and Platinum Metal Ores*, SPBGU, SPb, 2003 (in Russian).

[10] B. V. Afanas'yev, N. M. Bichuk, A. D. Dain i dr. "Mineral resources of the Murmansk region", *Mineral'nyye resursy Rossii. Ekonomika i upravleniye*, 1997, no.3, pp. 17–22 (in Russian).

[11] D. A. Dodin, V. V. Surkov (red.). *Russian Arctic: geological history, minerageny, geoecology*, VNIIOkeangeologiya, SPb, 2002 (in Russian).

[12] V. A. Korovkin i dr. *Bowels of the Russian Federation in the North-West*, VSEGEI, SPb, 2003 (in Russian).

[13] *World mineral resources on the begining of 2001*, IATs "Mineral", GNPP "Aerogeologiya", M., 2002 (in Russian).

© V. I. Gurman[1], I. V. Rasina[2], A. O. Blinov[3], I. S. Guseva[4], N. E. Kulbaka[5], O. V. Fesko[6], 2016
© Ailamazyan Program System Institute of RAS, ICS V. A. Trapeznikov of RAS[1], 2016
© Ailamazyan Program System Institute of RAS[2, 3, 5, 6], 2016
© Buryat State University[4], 2016
© Program systems: Theory and Applications, 2016

[14] *Report of independent experts on inventories and resources of diamond fields of Group of companies "Alrosa"*, Maykon Intern·yeshnl Ko Limited, Velikobritaniya, 17 sentyabrya 2013 g (in Russian).

[15] B. I. Benevol'skiy. *Gold of Russia*, OOO "Geoinformtsentr", M., 2002 (in Russian).

[16] V. A. Spiridonov, M. V. Gavrilo, Ye. D. Krasnova, N. G. Nikolayeva (red.). *Atlas of the biodiversity of the seas and coastlines of the Russian Arctic*, WWF Rossii, M., 2011 (in Russian).

[17] D. A. Dodin. *Metallogeny of Taimyr-Norilsk region*, Nauka, SPb, 2002 (in Russian).

[18] *On general principles of organization of indigenous peoples communities, Siberia and the Russian Far East*, Federal'nyy zakon ot 20.07.2000 No 104-FZ (red. ot 28.12.2013) (data obrashcheniya: 14.11.2015) (in Russian), URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_27908/

[19] Yu. F. Lukin. *Russian Arctic in a changing world*, IPTs SAFU, Arkhangel'sk, 2013 (in Russian).

[20] B. A. Revich (red.). *The impact of global climate change on the Russian Arctic population health*, Otchet po proyektu OON, 2008 (in Russian).

[21] Yu. G. Kutinov, K. G. Bogolitsyn, Z. B. Chistova, *Studies of the northern territories of the Earth from space: problems, properties, condition, opportunities on the example of the ISS-Arctic*, V 3-kh tomakh, UrO RAN, Yekaterinburg, 2012 (in Russian).

[22] Yu. G. Kutinov, S. G. Koposov. "Opportunities and prospects of development of the Arctic space monitoring center NArFU to address environmental management problems", *Al'manakh Prostranstvo i Vremya*, 2013, no.1, pp. 19 (in Russian).

[23] V. I. Gurman, Ye. V. Ryumina (red.). *Modelling of social, ecological and economic system of the region*, Nauka, M., 2001 (in Russian).

Sample citation of this publication:

Vladimir Gurman, Irina Rasina, Alexandr Blinov, Irina Guseva, Nikolay Kulbaka, Oles Fesko. "Possibilities of mathematical models and methods application to study of regional sustainable development problems on the case of the Arctic zone", *Program systems: theory and applications*, 2016, **7**:2(29), pp. 105–125. (*In Russian*).

URL: http://psta.psiras.ru/read/psta2016_2_105-125.pdf