УДК 504+338.49(57)

ЗАЩИТА СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ ОТ ПРИРОДНЫХ ОПАСНОСТЕЙ

[1]К.Г. Леви, [1]Е.А. Козырева, [1]А.И. Мирошниченко, [2]В.В. Чечельницкий, [2]Н.А. Гилева

[1]*Институт земной коры СО РАН, г. Иркутск, РФ*

[2]*Байкальский филиал геофизической службы СО РАН, г. Иркутск, РФ*

Рассмотрены способы превентивной защиты планируемых к строительству и строящихся ответственных элементов инфраструктуры Восточной Сибири. Для этого необходимо уже на стадии проектирования располагать знаниями о состоянии геологической среды, ее преобразованиях в природно-климатических условий Сибири и прогнозировать ее возможную эволюцию в ближайшие десятилетия под действием опасных эндо- и экзогенных процессов, способных приводить к снижению устойчивости гражданских и технических сооружений. Рассмотрены основные факторы природной среды, приводящие к негативным социально-экономическим последствиям, подходы к построению карт районирования для ряда опасных природных процессов, дана сравнительная характеристика их энергий и дан прогноз возникновения опасных природных обстановок на базе исторического и инструментального мониторингов до 2050 г.

Ключевые слова: неотектоника, современные движения, активные разломы, сейсмичность, обвалы, оползни, сели, карты районирования, энергия природных процессов.

DEFENSE SOCIAL AND ECONOMICAL INFRASTRUCTURE EASTERN SIBIRIA FOR NATURAL DANGERES

[1]K.G. Levi, [1]E.A. Kozyreva, [1]A.I. Miroshnichenko, [2]V.V. Chechel'nitzky, [2]N.A. Gileva

[1]*Institute of Earth's crust SD RAS, Irkutsk, RF*

[2]*Baikalian brunch geophysical survey SD RAS, Irkutsk, RF*

The paper deals with the prevention and protection measures for critical infrastructure components planned and being under construction in East Siberia. This implies the design-stage need to understand the state of geological environment and its transformations under natural and climatic conditions of Siberia and to predict the probability of its evolution in the nearest decades under endo- and exogenous hazards that may result in reduced stability of industrial and civil buildings and facilities. Consideration is being given to the environmental factors that pose negative socio-economic impacts, approaches to generating zoning maps of natural hazards, comparable characteristics of their energies, and natural hazard prediction until 2050 based on historical and instrumental monitoring.

Keywords: neotectonycs, modern movements, active faults, seismicity, collapses, landslides, mud flow, map of zoning, energy of natural processes

Введение

В связи со всплеском освоения новых территорий в Сибири в начале XXI века, развитием минерально-сырьевой базы, открытием новых месторождений полезных ископаемых, подготовка к строительству горно-перерабатывающих заводов и энергетических производств, добычи и транспортировки нефти и газа ожидается интенсивное развитие социально-экономической инфраструктуры регионов в условиях широкого развития опасных природных обстановок. Поэтому ниже мы остановимся на способах превентивной защиты планируемых к строительству и строящихся ответственных элементов инфраструктуры. Для этого необходимо уже на стадии проектирования располагать знаниями о состоянии геологической среды, ее преобразованиях в природно-климатических условий Сибири и прогнозировать ее возможную эволюцию в ближайшие десятилетия под действием опасных эндо- и экзогенных процессов, способных приводить к снижению устойчивости технических сооружений. Мы рассмотрим основные факторы природной среды, приводящие к негативным социально-

экономическим последствиям, подходы к построению карт районирования для ряда опасных природных процессов, дадим сравнительную характеристику их энергий и попытаемся дать прогноз возникновения опасных природных обстановок на базе исторического и инструментального мониторингов до 2050 г.

Опасные природные факторы и районирование территорий по степени опасности

Неотектонические движения земной коры и современные движения земной поверхности – изучаются геологическими и геодезическими методами, количественно оцениваются в метрах, сантиметрах и миллиметрах за различные интервалы геологического и календарного времени. Для решения некоторых практических задач используют числовой показатель градиента скорости движений, являющийся характеристикой тектонических деформаций.

Активные разломы – картируются геологическими, геофизическими и геодезическими методами. Их количественными характеристиками являются толщина зон тектонической переработки горных пород субстрата, протяженность и глубина проникновения разлома в земную кору, амплитуды вертикальных и горизонтальных смещений крыльев разлома. Для решения ряда практических задач разломы ранжируют по длинам или оценивают плотность активных разломов на единицу площади.

Сейсмичность – является результатом активной деятельности разломов – прорастания в толще земная кора, тектонические перемещения по плоскостям сместителей. В практике обычно используют ряд числовых параметров, характеризующих энергию и интенсивность сейсмического процесса – площадную концентрацию эпицентров землетрясений различных энергетических классов (Рис. 1); скалярные значения сейсмического момента, характеристика выполненной землетрясением «работы» по перемещению горных масс, распределение суммарной сейсмической энергии во времени и др.

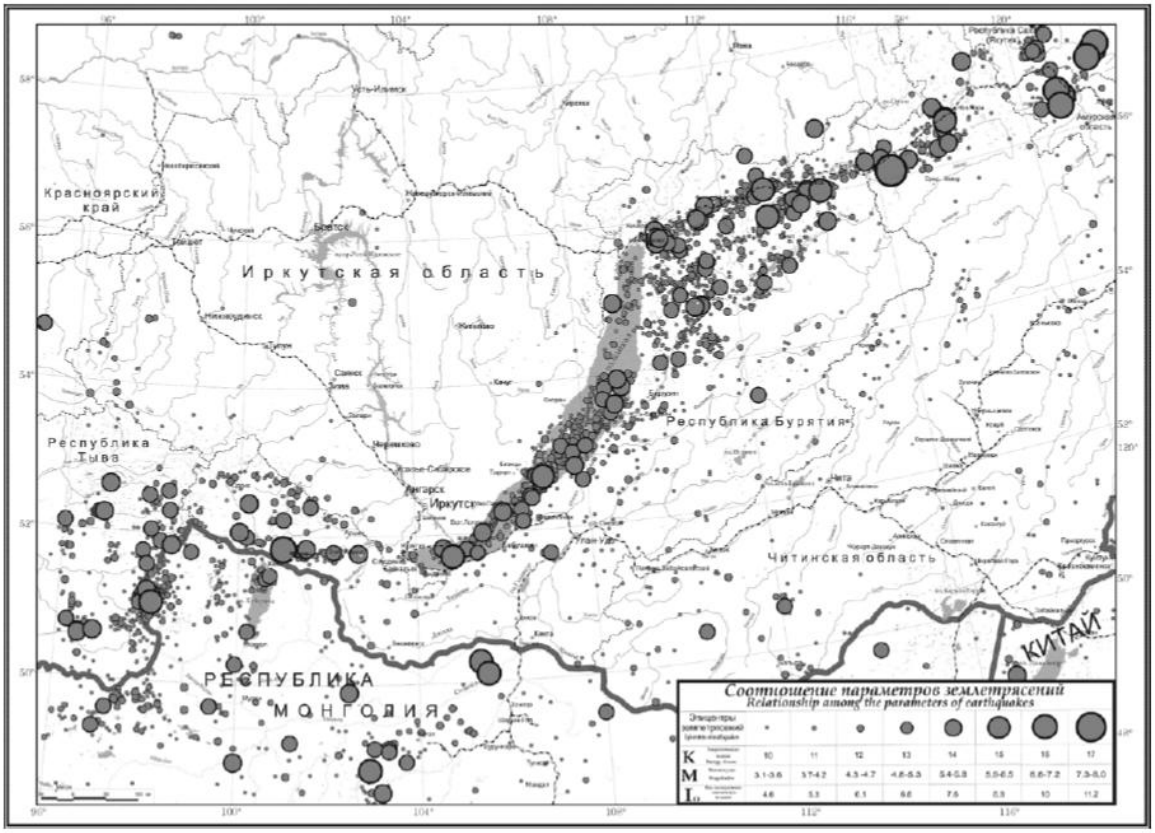

Рис. 1. Карта эпицентров землетрясений Прибайкалья по данным сети сейсмических наблюдений [Карта…, 2005]

Данные сейсмологических и палеосейсмологических исследований ложатся в основу карт сейсмического районирования различной детальности (Рис. 2). В таблицах 1 и 2 приведены энергетические характеристики землетрясений и соотношения балльности, амплитуды скорости и ускорений колебаний по шкалам MSK-64 и MMSK-92, которые лежат в основе упомянутых карт.

Таблица 1

Сопоставление некоторых энергетических характеристик землетрясения с размером очага

M	3	4	5	6	7	8	9
K	9	11	13	15	17	18	20
R, *км*	0.5	1.0	3.0	10.0	20.0	50.0	150.0
D, *м*	0.001	0.01	0.05	0.2	1.0	5.0	50.0

где **M** – магнитуда землетрясения по Ч. Рихтеру, **K** – энергетический класс землетрясения, **R** – радиус очага в км, **D** – смещение по плоскости разрыва в м [Ризниченко, 1977]

Таблица 2

Бальность, MSK-64	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Aa, (% g), MSK-64	<0.15	0.21	0.43	0.85	1.74	3.5	7.1	14.1	22.8
Aa, (%,g), MMSK-92	<0.07	0.11	0.28	0.7	1.75	4.4	11.0	28.0	70.0
Av, (см/с), MSK-64	<0.12	0.18	0.37	0.75	1.5	3.0	6.0	12.0	23.0
Av, (см/с), MMSK-92	<0.03	0.05	0.15	0.44	1.3	3.8	11.0	33.0	98.0

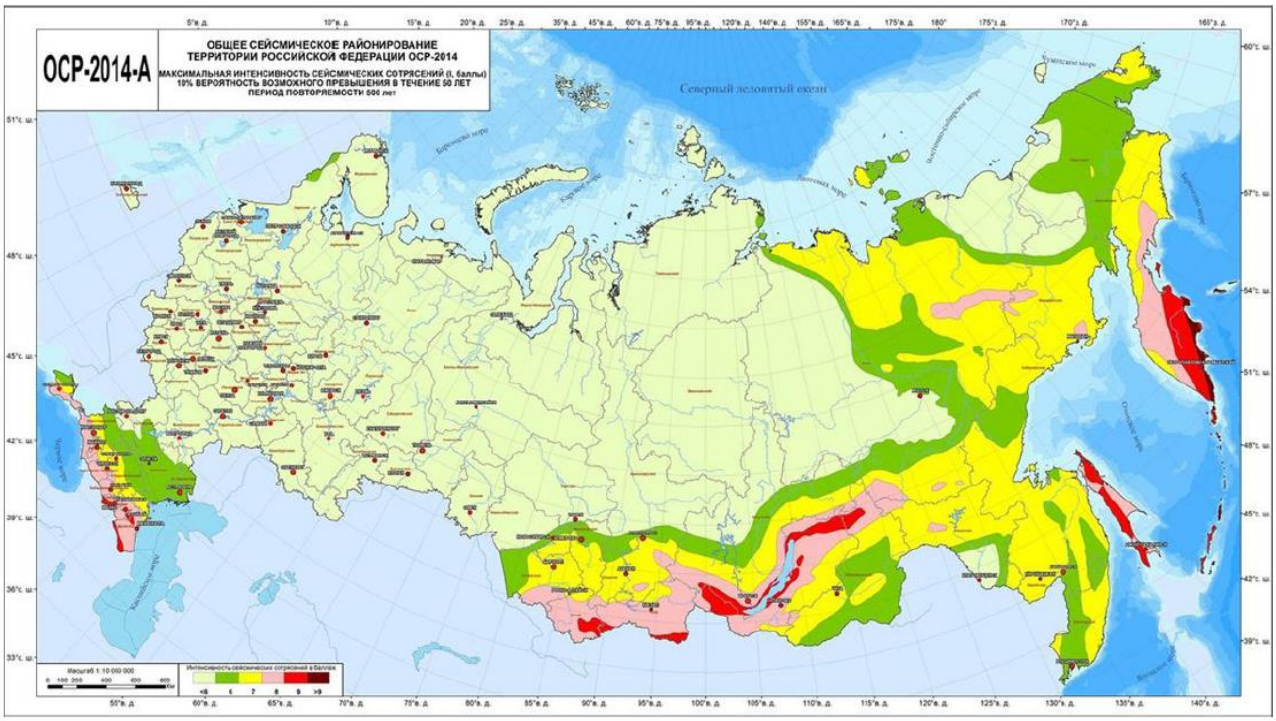

Рис. 2. Карта общего сейсмического районирования территории РФ ОСР-2014А

Однако кроме сейсмической опасности большое значение имеют опасные *экзогеодинамические процессы*, провоцируемые как сейсмичностью, так и атмосферными процессами. Как правило, при проектировании развития экономической инфраструктуры, составляются карты районирования различной детальности для отдельно взятых опасных процессов. Так при проектировании трассы ВСТО, был предложен подход к районированию путем наложения друг на друга карт эндо- и экзогеодинамических опасностей [Леви и др., 2007]. Для этого были составлены и согласованы между собой шкалы (Рис. 3) интенсивности проявления опасных процессов в системе баллов. Содержательная суть баллов приведена ниже.

γ	1			2		3		4		5		
M_R	0.6	1.4	2.1	2.8	3.6	4.2	5.1	5.8	6.6	7.2	8.2	8.8
I_0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Δ	1					2		3				

Рис. 3. Сравнение шкал прогнозной опасности для инженерных сооружений от природных (экзо- и эндогенных) воздействий

6 – интенсивность воздействия эндогеодинамических факторов, баллы; **M** – магнитуды землетрясений (по Рихтеру); $\mathbf{I_0}$ – интенсивность сейсмических колебаний по шкале MSK-64, баллы; □ – интенсивность воздействия экзогеодинамических факторов, баллы. *Экзогеодинамические опасности*: □**1** – **Низкая интенсивность** – единичные проявления различных типов процессов небольшой интенсивности; пораженность территории до 10%; редкие повреждения инженерных конструкций;)**2** – **Средняя интенсивность** – многолетняя мерзлота сплошная или прерывистая, возможно развитие бугров пучения, морозная трещиноватость, просадочные явления в грунтах, развитие комплекса гравитационных явлений; пораженность территории до 25-30%; повреждения инженерных конструкций и сооружений;) **3** – **Высокая интенсивность** – характерна для горных районов, широкое развитие обвалов, осыпей, оползней и снежных лавин, частый сход селевых потоков (раз в 3-4 года), проявления термокарста, пучения грунтов, солифлюкции; пораженность территории до 50% и более; частые и многочисленные повреждения инженерных конструкций

Эндогеодинамические опасности: □**1** – **Крайне низкая интенсивность** – средние скорости неотектонических движений до 0.021 мм/год, число активных разломов до 7 единиц на элементарную площадку 10*10 км2, скорость смещения в зонах разломов до 1 мм/год, слабосейсмичные области с возможными землетрясениями интенсивностью до 3 баллов, повреждения инженерных сооружений маловероятны; □**2** – **Низкая интенсивность** – средние скорости неотектонических движений 0.021-0.06 мм/год, число активных разломов до 7-10 единиц на элементарную площадку 10*10 км2, скорость смещения в зонах разломов до 2 мм/год, слабосейсмичные области с возможными землетрясениями интенсивностью до 4 баллов, очень слабые повреждения инженерных сооружений; □**3** – **Средняя интенсивность** – средние скорости неотектонических движений 0.06-0.12мм/год, число активных разломов до 10-15 единиц на элементарную площадку 10*10 км2, скорость смещения в зонах разломов до 8-10 мм/год, области с возможными землетрясениями интенсивностью до 5-6 баллов, слабые повреждения инженерных сооружений; □**4** – **Высокая интенсивность** – средние скорости неотектонических движений 0.12-0.20 мм/год, число активных разломов до 15-20 единиц на элементарную площадку 10*10 км2, скорость смещения в зонах разломов до 10-18 мм/год, области с возможными землетрясениями интенсивностью до 6-8 баллов, существенные повреждения инженерных сооружений; □**5** – **Очень высокая интенсивность** – средние скорости неотектонических движений ≥ 0.20 мм/год, число активных разломов до ≥ 20 единиц на элементарную площадку 10*10 км2, скорость смещения в зонах разломов ≥ 18 мм/год, области с возможными землетрясениями интенсивностью ≥ 8 баллов, катастрофические повреждения инженерных сооружений. Пример карты приведен на рисунке 4.

Карты районирования по комплексу опасных процессов

Казалось бы, районирование территорий по интенсивности проявления опасных процессов является рациональным в каждом конкретном случае, но при разработке стратегии освоения новых территорий желательно иметь карты районирования по комплексу опасных процессов. Такая работы была выполнена усилиями трех организаций ВНИИ ГО ЧС, ЦИЭКС и СЦ ИГЭ РАН в 2004 г. путем построения карты комплексного индивидуального риска от чрезвычайных ситуаций для населения Российской Федерации (Рис. 5) [Электронный ресурс, 2004: код доступа – http://www.kommersant.ru/doc/2293632]. Методика ее составления была разработана в 2002 г. [Методика оценки комплексного индивидуального риска …, 2002]. По своей рисовке она схожа с картой общего сейсмического районирования ОСР-97 хотя и имеет некоторые отличия.

Другой вариант оценки комплексной опасности был изложен в [Леви, 1991] и детализирован в [Мирошниченко, Леви, 2014]. Факторы, характеризующие интенсивность опасных процессов, были проанализированы с помощью стандартного пакета программ «Факторный анализ». Это позволило получить карты комплексной природной опасности в различных масштабах от глобального до детального регионального.

Однако использование оценок опасностей в баллах вызывает некоторую неудовлетворенность, поскольку для тонких инженерных расчетов балл выглядит как очень грубая оценка.

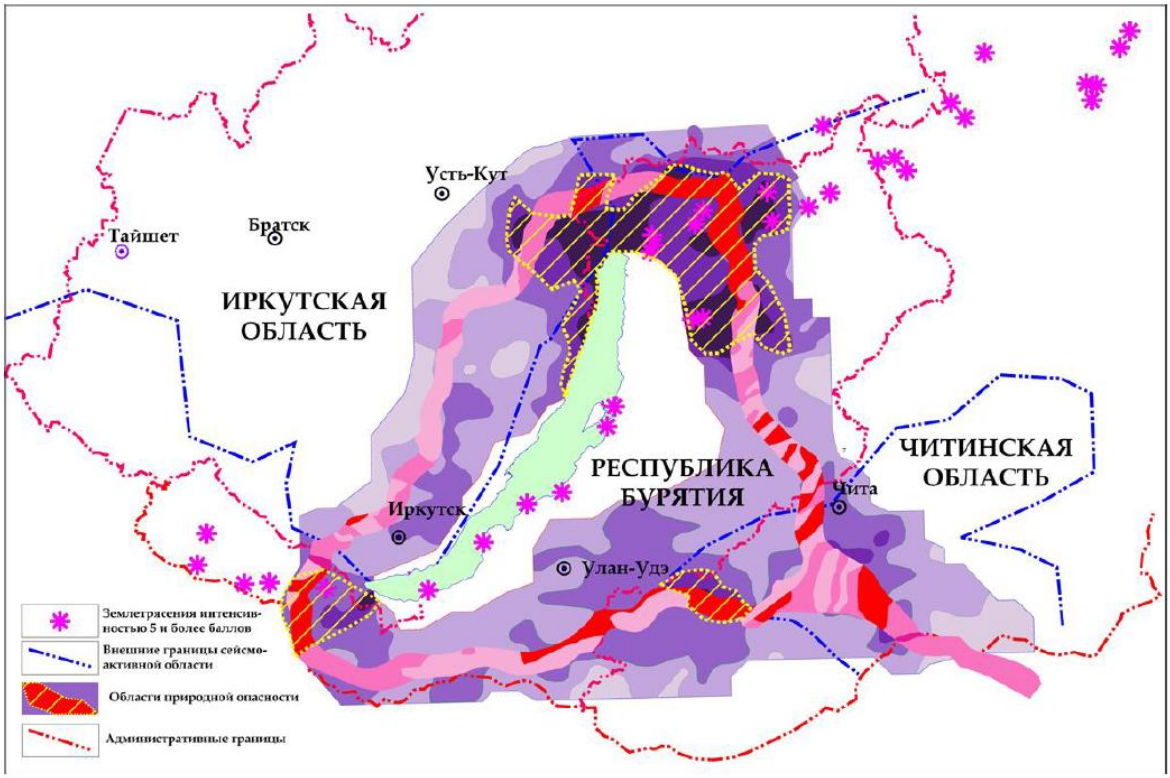

Рис. 4. Прогнозная карта опасности для инженерных сооружений от природных (экзо- и эндогенных) воздействий.

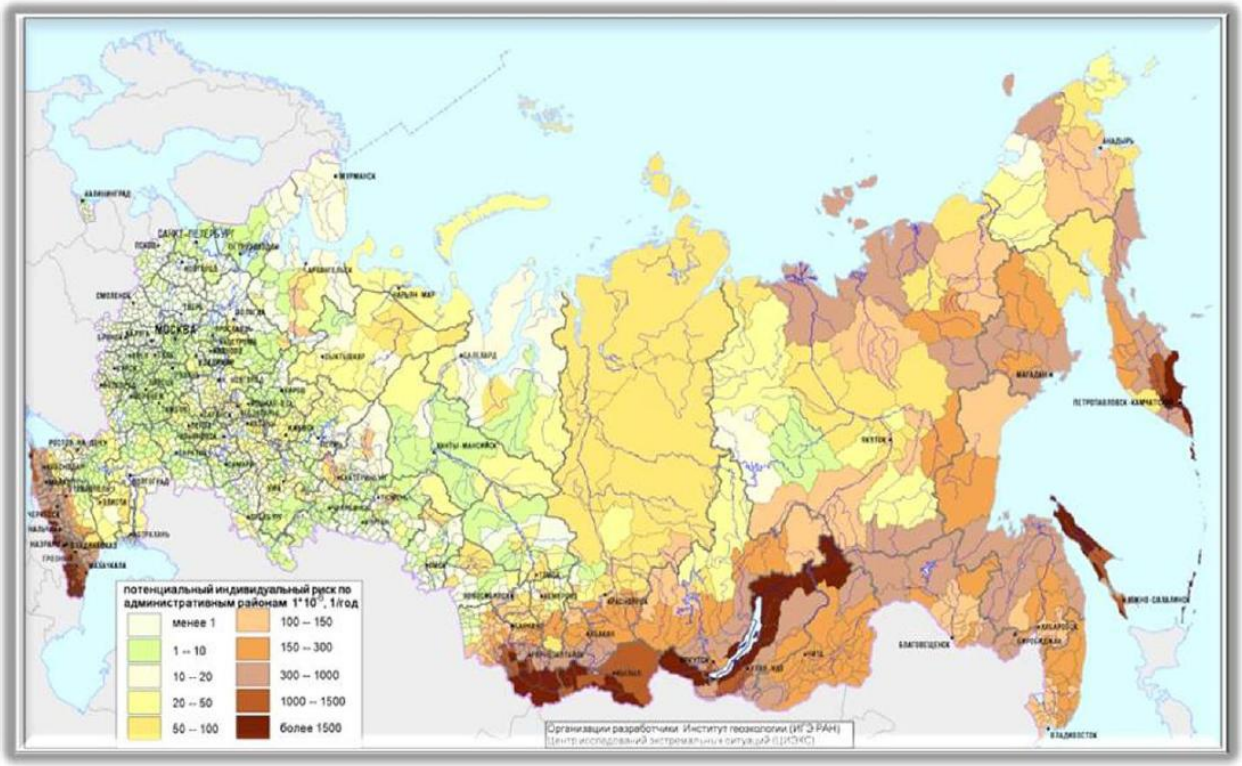

Рис. 5. Карта потенциального интегрального природного риска по административным районам Российской Федерации

Мы проанализировали различные варианты и пришли к выводу о том, что интенсивность проявления тех или иных опасных процессов целесообразнее отображать в единицах их энергий. Пример такой шкалы мы приводим на рисунке 6 [Задонина, Саньков, Леви, 2004].

В дополнение отметим, что, располагая данными исторического и инструментального мониторинга опасных природных процессов мы можем попытаться осуществить и среднесрочных прогноз их развития на ближайшие десятилетия. Рисунок 7 иллюстрирует пример подобного прогноза. Дело в том, что все природные процессы обладают собственной периодичностью и потому экстремальные ситуации могут возникать при совпадении максимумов и минимумов активности сразу у нескольких опасных процессов. Именно совпадение гармоник и приводит к возникновению негативных и опасных ситуаций.

Шкалы кинетической энергии и эмпирические шкалы интенсивности опасных природных процессов

Сопоставление шкалы кинетической энергии импактных событий со шкалой Ч. Рихтера для землетрясений

D_I -размер импактного кратера, *км*				10^{-2}		10^{-1}		10^{0}		10^{1}	10^{2}	10^{3}
				$E_{Дж}$= 10^{8} - 10^{11}		10^{12}- 10^{15}		10^{16}- 10^{19}		10^{20}- 10^{24}		> 10^{24}
M_L- магнитуда Ч. Рихтера	$E_{Дж}$= 10^{3}-10^{5}	10^{6} - 10^{7}	10^{8} - 10^{9}	10^{10}- 10^{11}	10^{12}- 10^{13}	10^{14}- 10^{15}	10^{16}- 10^{17}	10^{18}- 10^{19}	> 10^{20}			
M_L =	1	2	3	4	5	6	7	8	9			

I_M=	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
I_M-Баллы Ж. Меркалли	$E_{Дж}$= 10^{3}	10^{4}- 10^{5}	10^{6}- 10^{7}	10^{8}	10^{9}	10^{10}	10^{11}	10^{12}	10^{13}- 10^{14}	10^{15}	10^{16}	>10^{17}	
I_O =	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
I_0 -Баллы MSK-64	$E_{Дж}$= 10^{3}	10^{4-5}	10^{6}- 10^{7}	10^{8}	10^{9}	10^{10}	10^{11}	10^{12}	10^{13}- 10^{14}	10^{15}	10^{16}	>10^{17}	

M_L =	1	2	3	4	5	6	7	8	9
M_L -Магнитуда Ч. Рихтера	$E_{Дж}$= 10^{3}-10^{5}	10^{6}-10^{7}	10^{8}-10^{9}	10^{10}-10^{11}	10^{12}-10^{13}	10^{14}-10^{15}	10^{16}-10^{17}	10^{18}-10^{19}	>10^{20}

Сопоставление шкал Ч. Рихтера и Х. Канамори

M_L- магнитуда Ч. Рихтера	M_L =	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	$E_{Дж}$=	10^{3}-10^{5}	10^{6} - 10^{7}	10^{8} - 10^{9}	10^{10}- 10^{11}	10^{12}- 10^{13}	10^{14}- 10^{15}	10^{16}- 10^{17}	10^{18}- 10^{19}	> 10^{20}
M_W - баллы Х. Канамори	M_W =		3	4	5	6	7	8	9	10

Сопоставление энергетической шкалы для гравитационных инженерно-геологических процессов *Gr* со шкалой MSK-64

Баллы MSK - 64	I_0 =	1	2	3	4	5	6	7	8	9 - 10	11	12
	$E_{Дж}$=	10^{3}	10^{4}- 10^{5}	10^{6}-10^{7}	10^{8}	10^{9}	10^{10}-	10^{11}	10^{12}	10^{13}- 10^{14}	10^{15}- 10^{16}	>10^{17}
Баллы *Gr*	*Gr* =			0	1	2	3	4	5		6	7

Рис. 6. Шкалы кинетической энергии и эмпирические шкалы интенсивности опасных природных процессов

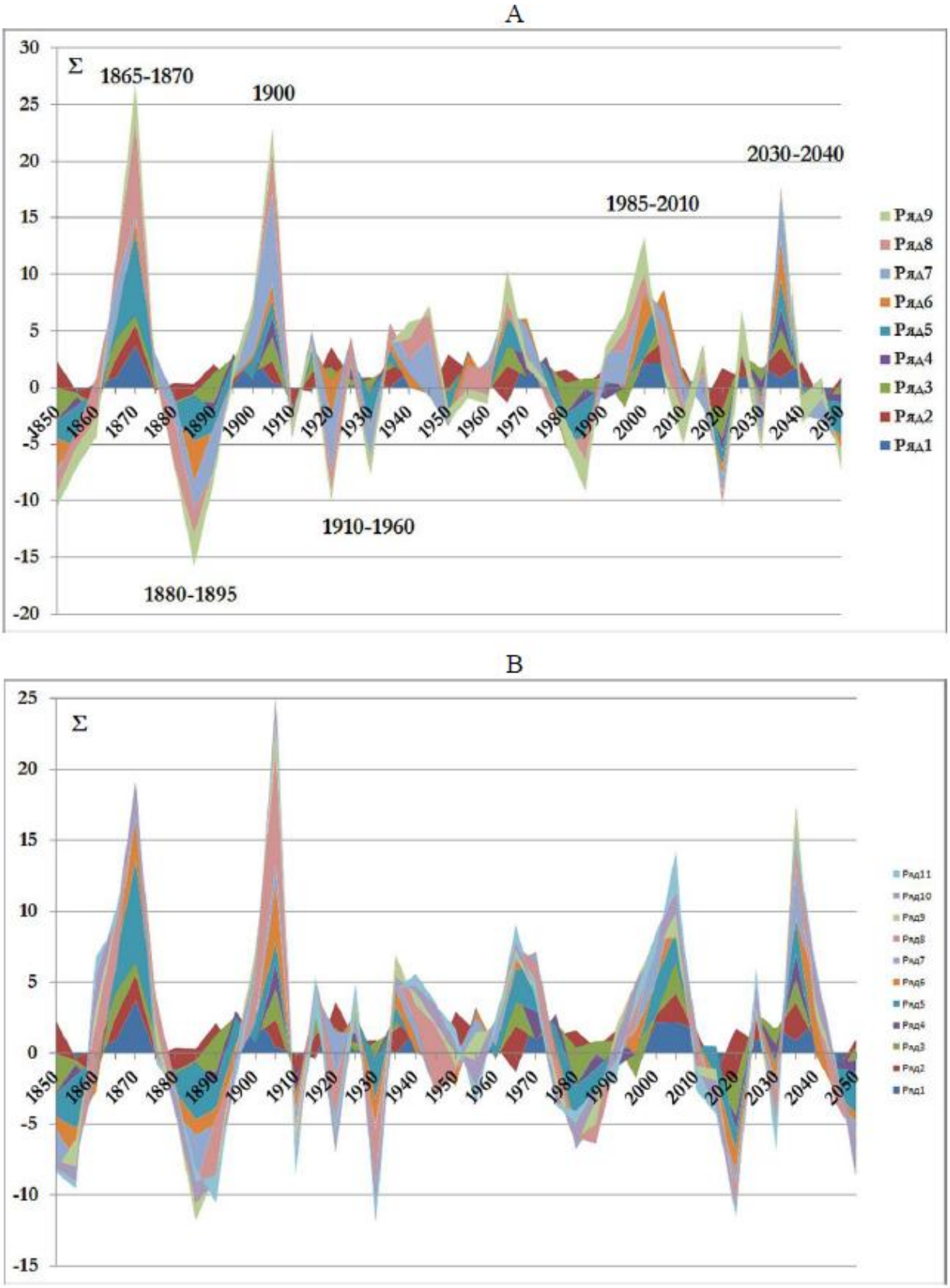

Рис. 7. Прогнозная модель, характеризующая активизацию экзогенных процессов под действием атмосферного массопереноса (А) и атмосферного массопереноса + сейсмичности (В) на юге Восточной Сибири в интервале 1850–2050 гг.

Расшифровка рядов: характеристика атмосферной циркуляции по Гирсу: **1** – число дней с ветрами западных румбов в год; **2** – число дней с ветрами восточных румбов в год; **3** – число дней с ветрами меридиональных румбов в год, **4** – вариации солнечной активности по годам; **5** – число сообщений о количестве наводнений в год; **6** – годовые суммы осадков; **7** – среднегодовая температура приземного слоя атмосферы в **°C**; **8** – количество сообщений о сходах селевых потоков в год; **9** – средняя высота стояния уровня оз. Байкал по годам; **10** – суммарное число сейсмических событий в год; **11** – суммарное количество выделившейся сейсмической энергии в год. Значения всех величин – относительные единицы.

Заключение

Таким образом, мы рассмотрели известные способы предвидения развития опасных природных процессов с использованием анализа ретроспективных данных. Пришли к выводу о полезности различных видов опасностей в отдельности для решения конкретных региональных проблем защиты элементов инфраструктуры регионов. Для стратегического планирования освоения территорий более интересны способы комплексного районирования по совокупности опасных природных явлений. Одновременно мы предлагаем оценивать проявления опасных процессов в реальных и общепринятых физических единицах их энергий. Кроме того, мы предлагаем дополнять статичные модели перечисленных карт районирования дополнительными кривыми среднесрочного прогноза развития опасных природных процессов на базе нелинейной статистики. Доклад иллюстрируется различными графическими примерами.

Список литературы

1. Задонина Н.В., Саньков В.А., Леви К.Г. Современная геодинамика и гелиогеодинамика. Природные катастрофы и организация превентивных мероприятий при чрезвычайных ситуациях. Книга 4. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2004. – 86 с.
2. Карта эпицентров землетрясений Восточной Сибири, произошедших за период 1950-2005 гг. / Ред. Леви К.Г., Масальский О.К. Авторы: Ружич В.В., Гилева Н.А., Задонина Н.В., Масальский О.К. – Иркутск: Изд-во ИЗК СО РАН. – 2005.

3. Карта комплексного индивидуального риска от чрезвычайных ситуаций для населения Российской Федерации. – М.: МЧС РФ, 2004. – Электронный ресурс, 2004: код доступа – http://www.kommersant.ru/doc/2293632
4. Леви К.Г. Неотектонические движения в сейсмоактивных зонах литосферы. Тектонофизический анализ. – Новосибирск: Наука, 1991. – 166 с.
5. Леви К. Г., Мирошниченко А.И., Козырева Е.А., Кадетова А.В. Модели эволюции озерных бассейнов Восточной Сибири в позднем плейстоцене и голоцене // Известия Иркутского госуниверситета. Археология и геоэкология. Серия «Геоархеология. Этнология. Антропология». – 2014. (в печати).
6. Леви К.Г., Тржцинский Ю.Б., Козырева Е.А. К оценке комплексного риска на примере деформаций и разрушения трубопроводных систем в условиях Восточной Сибири / Проблемы современной сейсмологии и геодинамики Центральной и Восточной Азии. Матер. Всерос. совещ. с международным участием. – Иркутск: ИЗК СО РАН, 2007. – С. 203-209.
7. Методика оценки комплексного индивидуального риска чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера / Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций (ВНИИ ГО ЧС), Центр исследований экстремальных ситуаций (ЦИЭКС), Сейсмологический центр Института геоэкологии РАН (СЦ ИГЭ РАН). – М., 2002. – 34 с. (Электронный ресурс: код доступа aso33.ru›download/307)
8. Мирошниченко А.И., Леви К.Г. Разломообразование в литосфере и сопутствующие процессы: тектонофизический анализ / Тезисы докладов Всероссийского совещания с участием приглашенных исследователей из других стран (г. Иркутск, 11 - 16 августа 2014 г.) / ред. кол.: К. Ж. Семинский (отв. ред.) и др.- Иркутск: ИЗК СО РАН, 2014. – 165 с.
9. Природные опасности России. Экзогенные геологические опасности. Тематический том / под редакцией В.М. Кутепова, А.И. Шеко. – М.: «КРУК», 2002 – 348с.
10. Ризниченко Ю.В. Расчет скорости деформации при сейсмическом течении горных масс // Изв. АН СССР. Физика Земли. – № 10. – 1977. – С. 23-31.