

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК

ЭКСТРЕМАЛЬНЫЕ ПРИРОДНЫЕ ЯВЛЕНИЯ И КАТАСТРОФЫ

Том II

**ГЕОЛОГИЯ УРАНА,
ГЕОЭКОЛОГИЯ, ГЛЯЦИОЛОГИЯ**

Москва
2011

УДК 504.0
ББК 26.2
Г35

Экстремальные природные явления и катастрофы : в 2 т. / Отв. ред. А.О. Глико;
ИФЗ РАН. – М. : ИФЗ РАН, 2010; 2011.

ISBN 978-5-91682-012-6

Г35 Т. 2 : Геология урана, геоэкология, гляциология / Отв. ред. В.М. Котляков, ИГ РАН;
отв. сост. А.Л. Собисевич, ИФЗ РАН; – М. : ИФЗ РАН, 2011.

ISBN 978-5-91682-014-0

Во втором томе коллективной монографии изложены результаты теоретических и экспериментальных исследований, связанных с изучением актуальных проблем современной геологии урановых месторождений, геоэкологии и гляциологии, имеющих целью обеспечение безопасности населения и важных промышленных объектов на территории Российской Федерации. Анализируются основные промышленно-генетические типы урановых месторождений; рассмотрены новые прогрессивные технологии добычи радиоактивных материалов; изучено поведение актинидов в условиях долгосрочного хранения и захоронения отработанного ядерного топлива. Полученные научные результаты отражают современные проблемы безопасности атомной энергетики.

Приведены новые научные данные, связанные с изучением эволюции Антарктического и арктических ледниковых покровов, от состояния которых зависит уровень Мирового океана. Достаточно внимания уделено геоэкологическим проблемам Северного Кавказа. Анализируются уникальные данные, полученные при проведении глубокого kernового бурения ледника на Западном плато вулканической постройки Эльбруса.

Изучены наиболее опасные геоэкологические процессы на территории РФ, которые могут привести к гибели людей, ранениям и потере здоровья, а также к значительным материальным ущербам; разработан специальный ГИС-проект, который является готовым к использованию продуктом со всеми элементами, присущими автоматизированной информационной системе специального назначения, содержащей развернутые базы данных.

Полученные новые научные результаты и разработанные технологии уже востребованы на практике.

Для специалистов в области наук о Земле, строительства и чрезвычайных ситуаций.

УДК 504.0
ББК 26.2

The Volume II of the collective monograph presents the results of both theoretical and experimental studies of actual problems of modern geology of uranium deposits, geoecology and glaciology in order to mitigate issues on public safety and potentially hazardous industrial facilities and consequent risks on the territory of Russian Federation. Primary types of industrial uranium ore deposits are analysed, new progressive technologies of prospecting of radioactive materials are considered, the behaviour of actinides in long-time storages and nuclear waste burial sites are studied. The results obtained represent modern safety problems of nuclear power engineering.

New scientific data related to evolution of glaciers in Arctic and Antarctica governing the global level of world ocean are presented. Specific attention is paid to geoecological problems in Northern Caucasus. Genuine data gathered in the course of deep core drilling on the Western plateau of the Elbrus volcano.

Most significant hazardous geoecological processes on the territory of Russian Federation, threatening populated areas in terms of human health and injury, substantial property damage are studied. The specialized geographical information system (GIS) is the database driven product with high level of automation and it has been developed in frames of the actual research initiative.

The new fundamental scientific results obtained and the new technologies developed are of particular interest for practical applications.

The book will satisfy the needs of specialists in Earth sciences, industrial construction applications and hazard assessment.

ISBN 978-5-91682-014-0
ISBN 978-5-91682-012-6

© Российская академия наук, 2011
© Коллектив авторов, 2011

СЕЙСМО-ГЕОДИНАМИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ГЛАВНЕЙШИХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ РОССИИ И БЛИЖНЕГО ЗАРУБЕЖЬЯ

¹ Государственный геологический музей им. В.И. Вернадского РАН,

² Учреждение Российской академии наук Международный институт теории прогноза землетрясений и математической геофизики РАН

Большинство АЭС Европейской части России наряду с крупными тепловыми и гидроэлектростанциями расположено в пределах Северо-Евразийской литосферной плиты со слабым проявлением сейсмичности и современных тектонических подвижек, кроме различных экзогенных процессов. В относительной близости к зонам умеренной сейсмической активности находятся проектируемые и действующие АЭС в Калининградской области и на юге Украины, как и расположенные в Прибалтике, Белоруссии и Украине ТЭС и ГЭС. В зоны развития активных разломов и в различной степени повышенной сейсмичности попадают АЭС, тепловые и гидроэлектростанции в Приуралье и на Урале, на Кольском п-ове, на юге Сибири, в Восточной Якутии и Магаданской области, в Забайкалье, в Хабаровском и Приморском краях, на Сахалине. Часть из этих объектов расположена в пределах отдельных блоков транзитных зон, разделяющих главные литосферные плиты и характеризующихся повышенной современной тектонической подвижностью. Наибольшей опасности подвергаются электростанции, находящиеся в транзитных зонах между Северо-Евразийской, Аравийской и Индийской литосферными плитами, где еще не закончились процессы коллизии. Сюда относятся объекты в Средней Азии, на Северном Кавказе и в Закавказье, включая АЭС в Армении. Для различных частей территории России и ближнего зарубежья составлены 7 схем площадного распространения сейсмической энергии с нанесением расположения атомных и других крупных электростанций, эпицентров землетрясений, активных разломов, границ плит и блоков, векторов горизонтальных перемещений земной коры. Эти материалы позволяют оценить степень возможных негативных последствий для энергетических объектов, связанную с современной внутриконтинентальной тектонической активностью.

ВВЕДЕНИЕ

В статье рассматриваются результаты изучения зон активных разломов и сейсмичности в районах существующих и проектируемых атомных электростанций, а также главных ГЭС и ТЭС на территории России и стран ближнего зарубежья с целью оценки и путей снижения степени риска в работе этих станций под влиянием современной тектонической активности. Исследования выполнялись в рамках программы 4 Президиума РАН «Оценка и пути снижения негативных последствий экстремальных природных явлений и техногенных катастроф, включая проблемы ускоренного развития атомной энергетики» (конвину вице-президент РАН акад. Н.П. Лаверов). Их проведение связано с решением фундаментальной научной проблемы установления природы повышенной внутриконтинентальной сейсмичности и закономерностей ее развития в пределах Северной Евразии.

Методика исследований заключалась в детальном анализе геологических материалов и на отдельных участках (район Калининграда, восток и северо-восток России) космических снимков изучаемых районов в масштабах от 1 : 2 000 000 – 1 : 500 000 до 1 : 100 000 – 1 : 50 000. Обобщение данных по перемещениям вдоль активных разломов и по результатам космогеодезических измерений (GPS и др.) позволило в первом приближении оценить горизонтальную и вертикальную подвижность блоков земной коры в районах расположения главных электростанций. Были построены 7 мелкомасштабных схем по отдельным регионам с активными разломами и эпицентрами (по данным NEIC: <http://earthquake.usgs.gov/regional/neic/> и CMT: <http://www.seismology.harvard.edu/>) относительно площадок АЭС, ГЭС и ТЭС, определением ориентировки и границ зон потенциально опасных

разрывных нарушений; амплитуд, скоростей и градиентов новейших и современных движений земной коры, а также параметров возможных подвижек. Помимо активных разломов и эпицентров на этих схемах показаны площадное распространение и изменение объемов высвобождающейся сейсмической энергии, границы литосферных плит, разделяющих их транзитных зон и блоков, векторы горизонтального перемещения в системе ITRF: <http://itrf.ensg.ign.fr/>.

СЕЙСМИЧНОСТЬ, АКТИВНЫЕ РАЗЛОМЫ И ПЛИТНО-БЛОКОВАЯ СТРУКТУРА СЕВЕРНОЙ ЕВРАЗИИ

Северная Евразия, в пределах которой находится территория России и стран ближнего зарубежья, характеризуются развитием повышенной сейсмичности в горно-складчатых сооружениях, окружающих с юга и востока слабосейсмичные области, относимые обычно к древним и молодым платформам (рис. 1). К этим же горно-складчатым сооружениям, а также к Уралу и северным акваториям приурочено большинство активных на современном этапе разрывных нарушений [Трифонов и др., 2002]. Как было установлено при предыдущих исследованиях [Рундквист и др., 2001; Rundquist et al., 2005], на современном этапе большая часть территории России и стран ближнего зарубежья принадлежит к обширной литосферной плите, границами которой служат: хр. Гаккеля и зона разломов в горной системе Черского, зоны разломов Южного Верхоянья, Станового хр., Байкальской рифтовой системы, Алтае-Саянской области и Тянь-Шаня, Памирский синтаксис, зоны разломов Копетдага, Кавказа, Западного Причерноморья, Карпат и более западных фронтальных частей Альпийской складчатой области. Эту литосферную плиту, которую было предложено назвать Северо-Евразийской, следует отличать от Евразийской, фактически не существующей в настоящее время как единое целое. Именно Северо-Евразийская плита представляет собой на современном этапе самостоятельное в сейсмогеодинамическом отношении образование, окруженное вдоль большей части своих границ серией блоков.

Блоковое обрамление Северо-Евразийской плиты (рис. 2) было подробно охарактеризовано в работах [Гатинский и др., 2005, 2007], в которых выделены транзитные (переходные) зоны на границах ее с соседними литосферными плитами. В пределах таких зон происходит передача и релаксация тектонической энергии, возникающей при взаимодействии главных плит. На изученной в данном проекте территории расположены Альпийско-Иранская, Центрально-Азиатская, Восточно-Азиатская, Северо-Тихоокеанская и ряд более мелких транзитных зон (см. рис. 2). Их границы, как и границы блоков, проходят в подавля-

ющем большинстве случаев по активным разломам. Приведенная на рис. 2 плитно-блоковая структура Северной и Центральной Евразии положена в основу выполненного нами сейсмо-геодинамического мониторинга энергетических объектов России и стран ближнего зарубежья, результаты которого приводятся ниже в соответствующих разделах статьи.

ЗАПАД ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ И ПРИЛЕГАЮЩИЕ ТЕРРИТОРИИ

На западе европейской части России, в Украине, Белоруссии и Прибалтике атомные и остальные электростанции расположены в пределах слабосейсмичной Северо-Евразийской плиты. Уровень высвобождающейся здесь сейсмической энергии обычно не превышает $1 \cdot 10^1 - 1 \cdot 10^2$ эрг, лишь в краевых частях плиты в Молдавии и Южной Польше возрастая до $1 \cdot 10^{11} - 1 \cdot 10^{17}$ эрг (рис. 3). Небольшое увеличение объема энергии до $1 \cdot 10^4 - 1 \cdot 10^8$ эрг отмечено в низовьях Днепра и Днестра, в частности в районе недостроенной АЭС к западу от Одессы, и на южном побережье западной части Финского залива, однако в районе Игналинской станции на востоке Литвы, остановленной в самом конце 2009 г., и Ленинградской АЭС к западу от Санкт-Петербурга уровень сейсмической энергии не превышает $1 \cdot 10^1$ эрг.

Практически асейсмичны районы Нововоронежской и остановленной Воронежской, Смоленской, Курской и Калининской АЭС, станции на северо-западе Украины, а также район Чернобыльского саркофага. Проектируемая АЭС на востоке Калининградской области на левобережье Немана находится на расстоянии более 130 км от ближайшего эпицентра землетрясения на шельфе [Гатинский и др., 2010]. На асейсмичных или слабосейсмичных площадях расположено подавляющее большинство ГЭС и ТЭС на территории Европейской России, Украины и Прибалтики.

Интенсивность и направленность современных движений земной коры определяются решениями механизмов землетрясений и векторами космогеодезических измерений. На основе анализа механизмов в эпицентрах по данным СМТ на шельфе около Калининграда устанавливаются правые сдвиги, а в пределах Паннонского блока – левые. В большинстве случаев глубина гипоцентров событий изменяется от 4–10 до 30–40 км и только на юге Карпат в Румынии увеличивается до 100–160 км в районе Вранча, где преобладают глубинные сжатия. Максимальные магнитуды колеблются от 5–4 и менее до 6, причем последние появляются в зонах активных разломов в Паннонском блоке и в Карпатах, в том числе в районах АЭС в Словакии и Венгрии. Но одно событие с $M = 5,0 - 5,9$ отмечено непосредственно к северу от недостроенной АЭС около Одессы и ГЭС на Днестре.

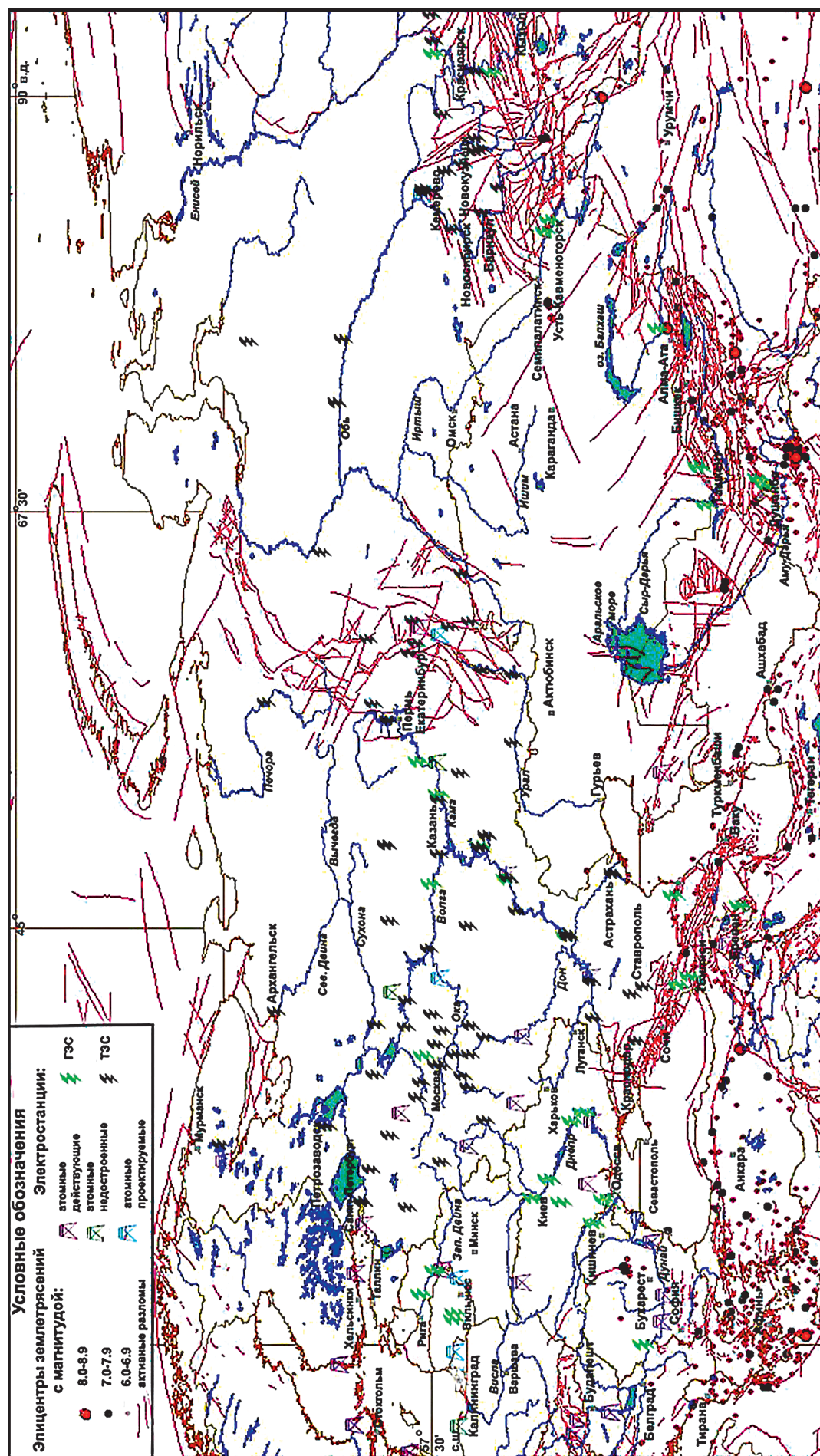


Рис. 1. Сейсмичность и активные разломы на территории европейской части России, Западной Сибири и соседних стран. Показаны эпицентры сильнейших землетрясений с магнитудой 6,0–6,9 (коричневые), 7,0–7,9 (черные), $\geq 8,0$ (красные), АЭС, главные ГЭС и ТЭС

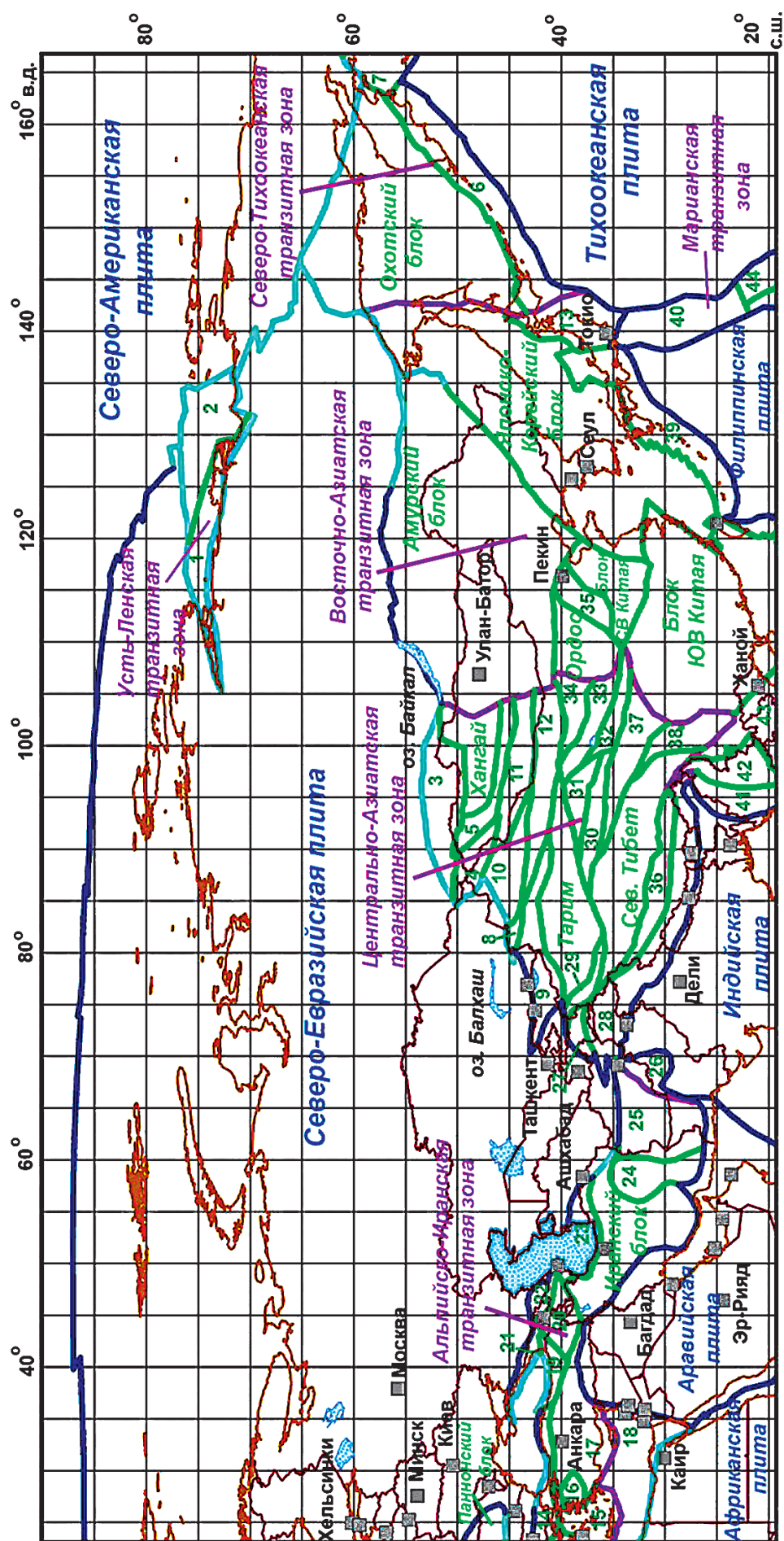


Рис. 2. Схема плитно-блокового строения Северной и Центральной Евразии (по работам [Гатинский и др., 2005, 2007; Gatinsky et al., 2009]). Границы: синие – главные литосферных плит, фиолетовые – транзитных зон, зеленые – блоков, голубые – предполагаемые границы структур, коричневые – границы стран и береговая линия. Цифрами обозначены блоки: 1 – Усть-Ленский, 2 – Центрально-Лаптевский, 3 – Саянский, 4 – Алтайский, 5 – Западно-Монгольский, 6 – Курило-Камчатский, 7 – Берингия, 8 – Эби-Нур, 9 – Тянь-Шань, 10 – Джунгария, 11 – Южное Гоби, 12 – Бей-Шань, 13 – Северо-Японский, 14 – Родоп-Синопский, 15 – Эгейский, 16 – Мендерес, 17 – Анатолийский, 18 – Восточно-Средиземноморский, 19 – Восточный Понт, 20 – Малый Кавказ, 21 – Западный Кавказ, 22 – Восточный Кавказ, 23 – Южно-Каспийский, 24 – Лут, 25 – Афганский, 26 – Пенджаб, 27 – Памир, 28 – Гималаи, 29 – Западный Тарим, 30 – Восточный Тарим, 31 – Цайдам, 32 – Западный Цинлинь, 33 – Цилань, 34 – Джартай, 35 – Тайханг-Шань, 36 – Южный Тибет, 37 – Баян-Хар, 38 – Кам-Диан, 39 – Рюкю – Центральный Хонсю, 40 – Идзу-Бонинский, 41 – Андаманы – Западная Мьянма, 42 – Шан, 43 – Индокитайско-Зондский, 44 – Восточно-Марианский

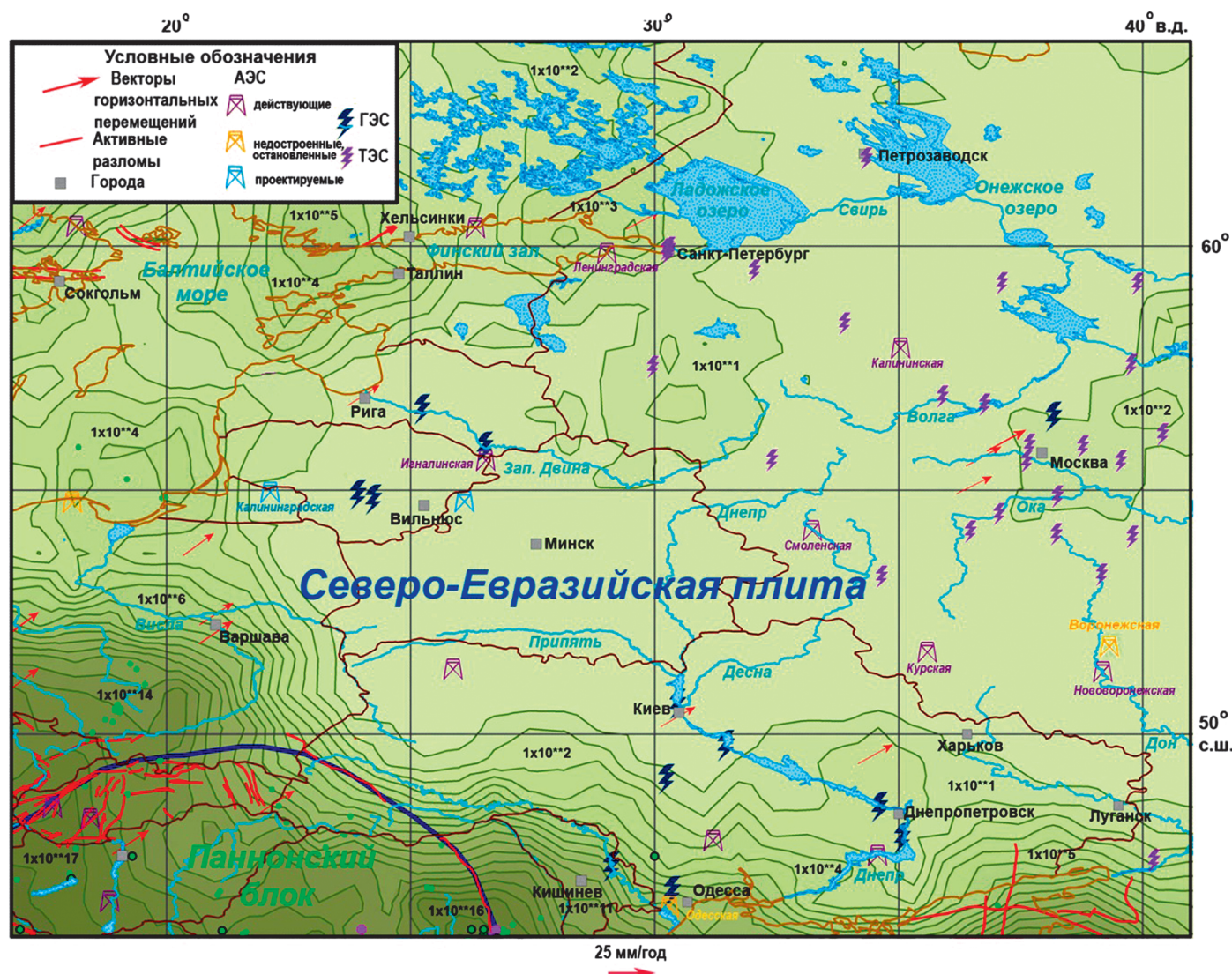


Рис. 3. Электростанции запада европейской части России и прилегающих стран на схеме площадного распространения сейсмической энергии. Каждое увеличение интенсивности окраски полей схемы отвечает возрастанию величины сейсмической энергии на $1 \cdot 10^1$ эрг (проставлены значения отдельных полей в эргах). Показаны эпицентры землетрясений с магнитудой: 4,0–4,9 (светло-зеленые), 5,0–5,9 (темно-зеленые), 6,0–6,9 (фиолетовые). Обозначения границ см. на рис. 2. Игналинская АЭС на востоке Литвы показана как действующая, так как она была остановлена только в конце 2009 г.

Для этой части Северо-Евразийской плиты характерны северо-восточные векторы горизонтальных перемещений в системе ITRF с азимутами от $45\text{--}49^\circ$ СВ на западе в Швеции и Польше до $51\text{--}53^\circ$ СВ на востоке возле Киева и Москвы. Скорость этих перемещений в пределах $22\text{--}26$ мм/год. Вертикальные перемещения в той же системе изменяются от поднятий со скоростью $1,0\text{--}1,5$ мм/год в пределах Балтийского щита в Швеции и Финляндии до $0,4$ мм/год в районе Вроцлава в Польше.

На территории Польши в непосредственной близости от Калининградской обл. имеются три пункта инструментальных космогеодезических измерений (GPS). На ближайшем из них, расположенном

в $30\text{--}40$ км к юго-юго-востоку от Калининграда, установлен вектор вертикального опускания земной коры со скоростью $1,6$ мм/год. Нетрудно видеть, что за длительный срок такая скорость приведет к значительному погружению. Примерно на таком же расстоянии южнее его в другом пункте GPS отмечено воздымание со скоростью $1,8$ мм/год, а непосредственно к югу от него – снова погружение со скоростью около $1,2$ мм/год. Приведенные данные подтверждают возможность малоамплитудных вертикальных колебаний и контрастных движений различных участков земной коры вблизи Калининграда. Это, наряду с другими аргументами (расположение эпицентров землетрясений на шельфе вблизи Ка-

лининграда, особенности развития различных литологических комплексов четвертичных отложений), позволило рекомендовать возможное размещение площадки под строительство Калининградской АЭС на крайнем востоке Калининградской обл. [Гатинский и др., 2010].

Небольшое воздымание коры со скоростью 0,2 мм/год установлено в районе Москвы. На юге с приближением к Черному морю начинают преобладать погружения (около 0,1 мм/год возле Полтавы).

Таким образом, проведенный мониторинг указывает на достаточную надежность большинства действующих, недостроенных и проектируемых атомных электростанций на западе России, в Белоруссии, Украине и Прибалтике по отношению к возможным природным катастрофам, связанным с уровнем сейсмичности и перемещениями по активным разломам. Такой же вывод можно сделать для подавляющего большинства тепловых и гидроэлектростанций рассмотренного региона. Относительно повышенная сейсмичность с M до 5,9 отмечена только для недостроенной АЭС в районе Одессы и соседней ГЭС на Днестре.

СЕВЕР ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ И УРАЛ

В этом регионе, полностью входящем в состав Северо-Евразийской литосферной плиты, расположены как действующие и проектируемые атомные станции на Урале около Екатеринбурга (Белоярская, Южно-Уральская) и на Волге около Саратова (Балаковская), так и недостроенные и остановленные Костромская, Горьковская, Татарская и Башкирская (рис. 4). Станции в районах Смоленска, Курска и Воронежа были рассмотрены в предыдущем разделе. Все они расположены в пределах Северо-Евразийской плиты на асейсмичных или слабосейсмичных площадях, как и многочисленные тепловые станции, а также крупные ГЭС на Волге и на Каме. Незначительное возрастание объема высвобождающейся сейсмической энергии до $1 \cdot 10^4$ – $1 \cdot 10^6$ эрг установлено на Северном Урале к северо-востоку от Перми, в верховьях Северной Двины, в устье Печоры и в среднем течении р. Урал на границе с Казахстаном с магнитудой в эпи-

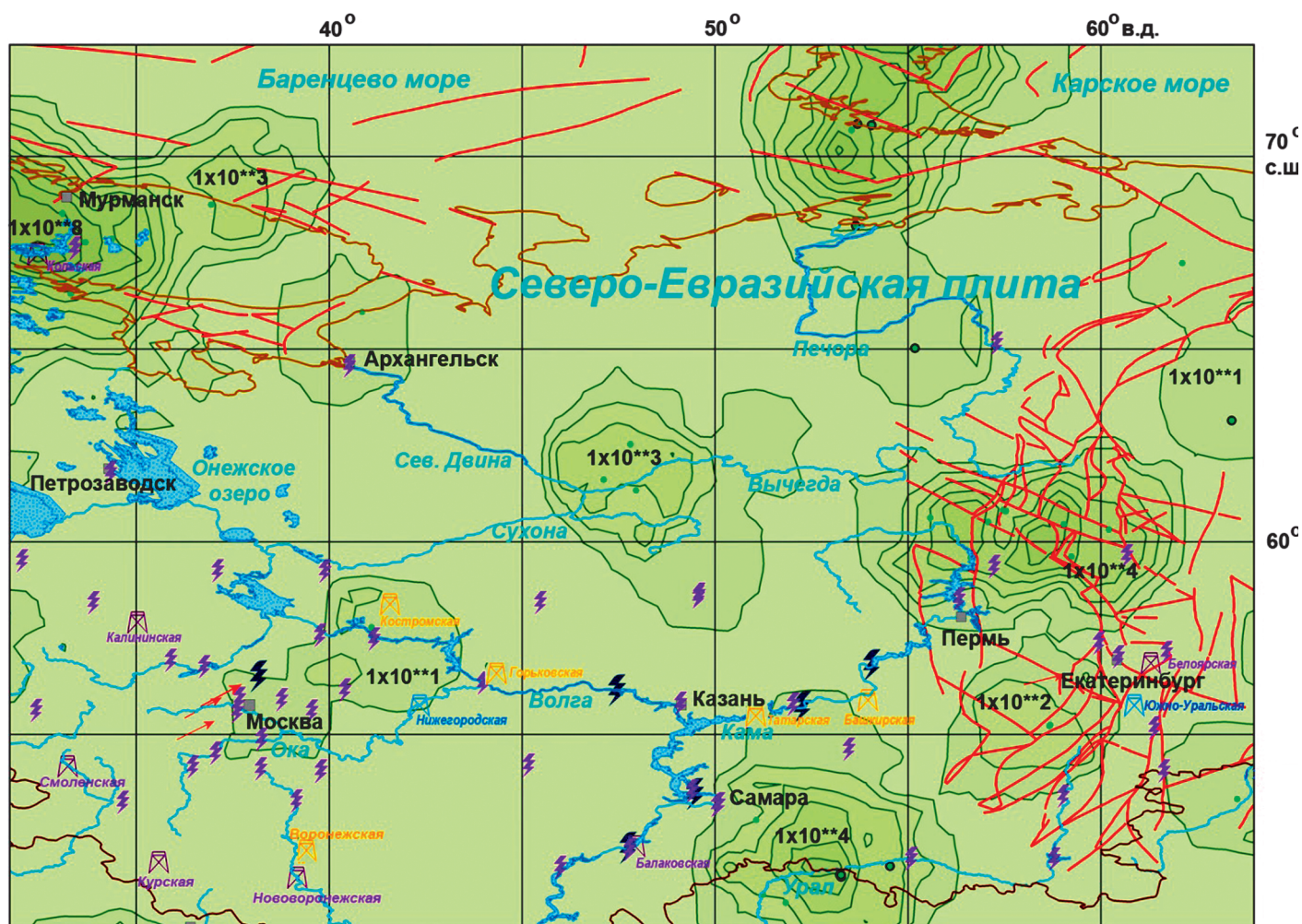


Рис. 4. Электростанции севера европейской части России и Урала. Условные обозначения см. на рис. 3

центрах до 5,3–5,9, но в этих районах отсутствуют АЭС и другие крупные электростанции. В Поволжье по историческим данным (до 1900 г.) упоминаются провальнo-карстовые экзогенные землетрясения с оценочной магнитудой до 3,7 [Бугаев и др., 2001].

Более существенно до $1 \cdot 10^8$ эрг возрастает энергия землетрясений в зонах активных разломов на Кольском п-ове к югу от Мурманска (см. рис. 4), где находится Кольская АЭС возле городов Апатиты и Кировск. Здесь зафиксированы эпицентры землетрясений с магнитудой 4,0–4,9, а в районе Кандалакши до 5,1. Для расположенной севернее Мурманско-Кейвской зоны активных разломов отмечены максимальные магнитуды до 5,0 по историческим данным и до 4,9 по результатам инструментальных наблюдений после 1900 г. [Бугаев и др., 2001]. Большинство активных разломов на Кольском п-ове и на Урале имеет сдвиговый характер. В частности, в зонах активных северо-западных и субмеридиональных сдвигов находится ряд атомных и тепловых станций на Урале, однако амплитуда перемещений вдоль этих нарушений не превышает нескольких миллиметров в год.

Судя по немногочисленным векторам GPS в системе ITRF в этой части Северо-Евразийской плиты продолжаются горизонтальные перемещения со скоростью 25–26 мм/год с постепенным изменением азимута их от 53–57° СВ на западе до 70–72° СВ на Урале, что указывает на последовательный поворот плиты по часовой стрелке.

Подводя итог рассмотрения этого региона, можно констатировать, что подавляющее большинство энергетических объектов расположено здесь в районах с весьма незначительным проявлением современных тектонических движений и, следовательно, обладают достаточной надежностью по отношению к ним. Исключение составляют Кольская АЭС и ТЭС в том же районе и на Южном Урале, где, судя по историческим и инструментальным данным, возможны сейсмические события с M 5,0–5,5. Недостроенные и остановленные АЭС в большинстве своем также не вызывают опасений в отношении подвижек, связанных с тектоническими процессами.

ЮГ ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ, КАВКАЗ, ЗАКАВКАЗЬЕ И ПРИЛЕГАЮЩИЕ ТЕРРИТОРИИ

Этот регион, за исключением самой северной части его, характеризуется весьма высокой и неравномерно распределенной сейсмичностью. На севере в пределах южного края Северо-Евразийской литосферной плиты происходит постепенное увеличение уровня сейсмической энергии в южном направлении (рис. 5). Если в районе Днепрогэса, АЭС возле Запорожья и на Дону, где находится Ростовская станция, он составляет $1 \cdot 10^1$ – $1 \cdot 10^3$ эрг, то в Степном Крыму и около

Астрахани возрастает до $1 \cdot 10^5$ – $1 \cdot 10^8$ эрг. Еще выше этот уровень на южном побережье Крыма в районе недостроенной Крымской АЭС и у Ставрополя, где он достигает $1 \cdot 10^{11}$ – $1 \cdot 10^{13}$ эрг. Тепловые станции в Ставропольском и Краснодарском краях расположены в районах с высвобождением сейсмической энергии в объеме $1 \cdot 10^{10}$ – $1 \cdot 10^{16}$ эрг.

Максимальная современная тектоническая активность наблюдается на Большом Кавказе и в Закавказье в пределах Альпийско-Иранской транзитной зоны между Северо-Евразийской и Аравийской плитами (см. рис. 5). Здесь выделено несколько блоков, границы которых характеризуются весьма интенсивной сейсмичностью. Во фронтальных частях Западно-Кавказского и Восточно-Кавказского блоков на границе с Северо-Евразийской плитой объем высвобождающейся энергии достигает $1 \cdot 10^{15}$ – $1 \cdot 10^{20}$ эрг. Здесь преобладают надвиги к северу с магнитудой в эпицентрах землетрясений 4–7. Преимущественно сжатие развито также в эпицентрах на границе Восточного и Малого Кавказа, но здесь надвиги направлены к югу.

Вдоль Северо-Анатолийского разлома на северной границе Анатолийского блока по механизмам землетрясений устанавливается устойчивый правый сдвиг с магнитудами в эпицентрах 4–7, а северо-восточный поперечный транскавказский разлом представляет собой левый сдвиг. Отдельные северо-западные правые сдвиги со сжатием характеризуют внутреннюю структуру Малого Кавказа, в том числе в районе Ереванской АЭС, где объем высвобождающейся сейсмической энергии составляет $1 \cdot 10^{20}$ эрг (см. рис. 5). Вдоль северо-западной части Загросского разлома на границе Малого Кавказа и Центрально-Иранского блока с Аравийской плитой также преобладают правые сдвиги с магнитудой в эпицентрах 4–7. Растяжения по данным СМТ отмечены только в Куринской впадине и Южно-Каспийском блоке. Крупные ГЭС на севере Дагестана, на западе Грузии и на востоке Армении находятся в зонах с уровнем сейсмической энергии до $1 \cdot 10^{18}$ – $1 \cdot 10^{20}$ эрг.

По результатам космогеодезических измерений в системе ITRF2005 на станциях Симеиз на юге Крыма, Трабзон на южном побережье Черного моря и в Ереване блоки коры рассматриваемого региона перемещаются на северо-восток со скоростями 26,8–33,6 мм/год (максимальное значение для Армении) по азимутам 50–60° СВ. При этом в Южном Крыму отмечено погружение со скоростью 2,5 мм/год, а в Ереване – поднятие со скоростью 1,3 мм/год.

Как показывает проведенный мониторинг, регион юга Европейской России, Кавказа и Закавказья является одним из наиболее сейсмически напряженных на территории нашей страны и ближнего зарубежья. Как для действующих, так и для проектируемых в дальнейшем АЭС, ГЭС и ТЭС здесь необходимы тщательный контроль уровня сейсмической активности и соблюдение защитных мер при строительстве энергетических объектов. Наибольшей опасности

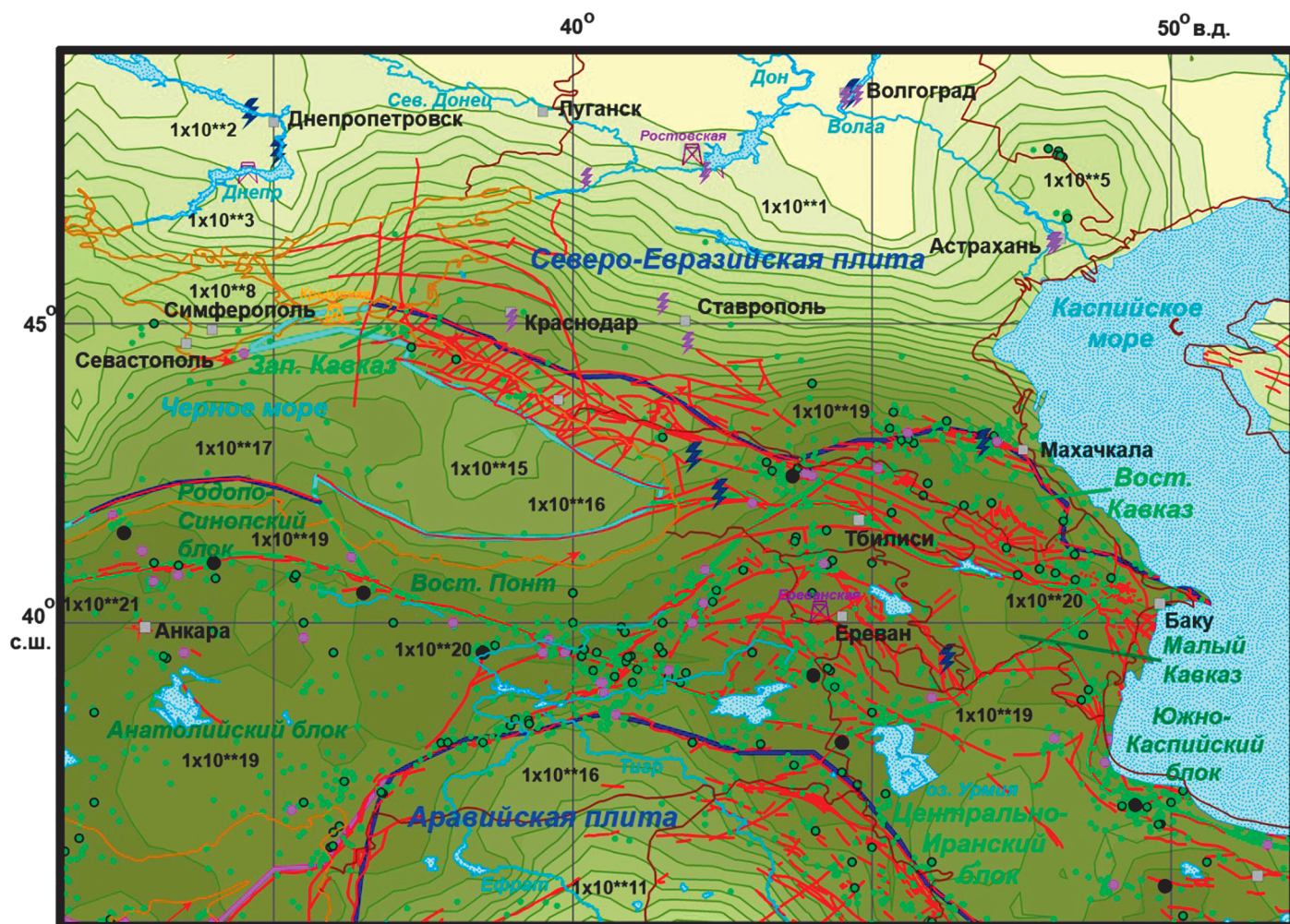


Рис. 5. Электростанции юга европейской части России, Кавказа и Закавказья. Черные кружки – эпицентры землетрясений с магнитудой 7,0–7,9, остальные условные обозначения см. на рис. 2 и 3

подвергаются АЭС в районе Еревана, недостроенная Крымская станция и гидроэлектростанции на западе Грузии, в Армении и Дагестане.

СРЕДНЯЯ АЗИЯ

Среднеазиатский регион включает территорию Казахстана, Узбекистана, Туркмении, Таджикистана и Киргизии, а также прилегающие части Ирана, Афганистана, Пакистана, Индии и Китая. Как и предыдущий, он в своей южной половине находится в зоне резко повышенного уровня сейсмической энергии (рис. 6). Здесь пока нет АЭС (ближайшая Бушерская введена в строй осенью 2010 г. на юге Ирана), но имеется несколько крупных гидроэлектростанций. Страны региона обладают значительными запасами полезных ископаемых, разработка которых в ближайшем будущем может потребовать наращивания энергетических мощностей.

Интенсивность высвобождающейся сейсмической энергии в Средней Азии быстро возрастает к югу

от $1 \cdot 10^1$ – $1 \cdot 10^2$ до $1 \cdot 10^{19}$ – $1 \cdot 10^{20}$ эрг. На юге региона высокосейсмичные зоны с магнитудами до 7,0–7,9 и более приурочены преимущественно к активным разломам на границах Северо-Евразийской плиты с Южно-Каспийским блоком (Копетдагский разлом, проходящий через Ашхабад), с блоками Памира и Тянь-Шаня, а также на границах Тянь-Шаня и Тарима, Памира и Гималаев (см. рис. 6). В эти зоны попадают ГЭС около Алма-Аты, Ташкента и Душанбе. Вдоль отдельных поперечных к упомянутым границам разломов наблюдаются локальные повышения энергии до $1 \cdot 10^{10}$ – $1 \cdot 10^{16}$ эрг. Такие повышения происходят вдоль зоны Амударьинского разлома на юго-западе Узбекистана и к востоку от Караганды на левобережье Иртыша в Казахстане, вблизи расположенных за восточной рамкой рисунка ГЭС в районе Усть-Каменогорска (рис. 7).

Большинство активных разломов на границах блоков по фокальным механизмам представляют собой надвиги, направленные к югу на северной границе Тарима и к северу на Памире. Реже наблюдаются правосторонние сдвиги со сжатием, в том числе Ко-

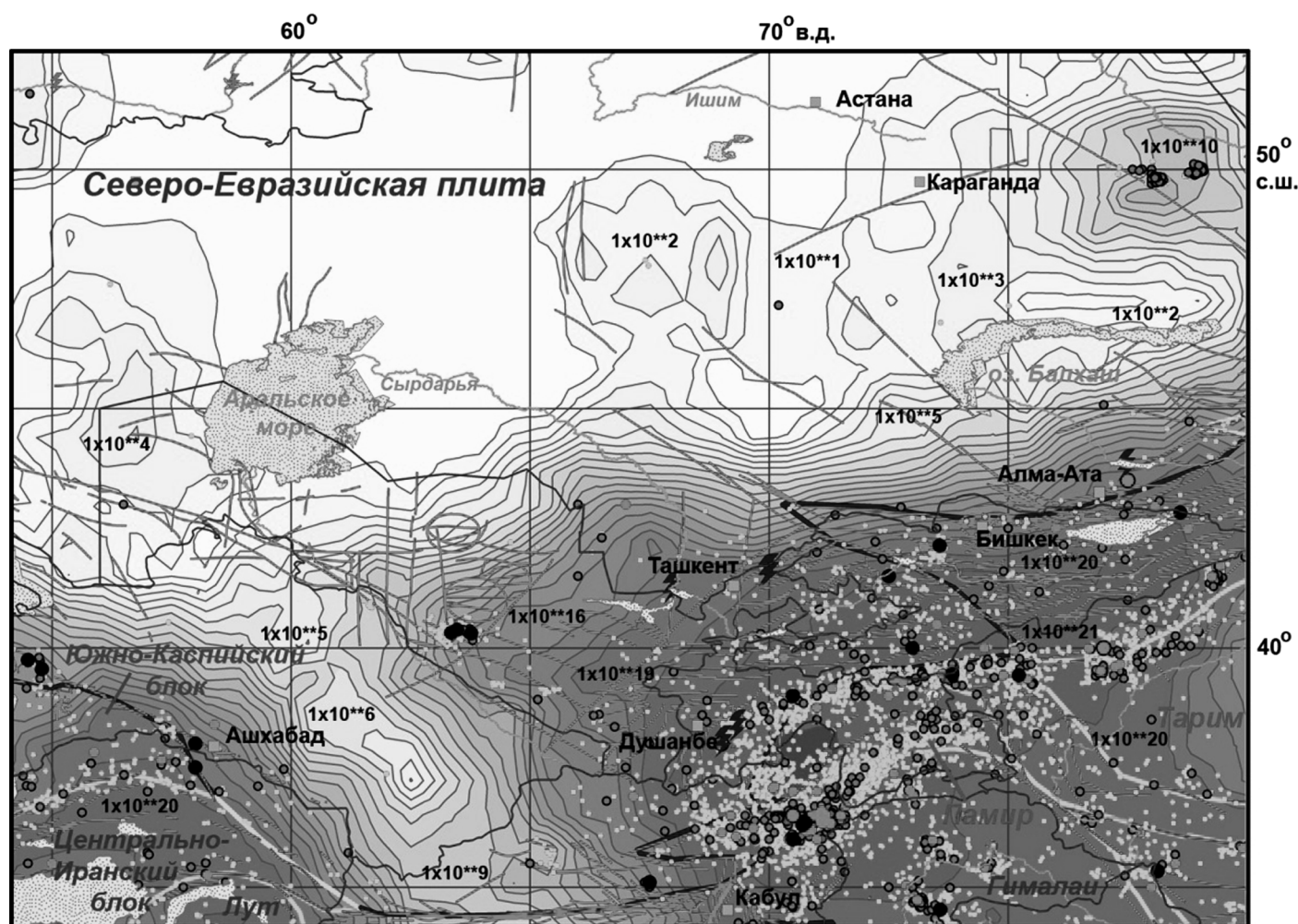


Рис. 6. Электростанции на территории Средней Азии. Красные кружки – эпицентры землетрясений с $M \geq 8$, остальные условные обозначения см. на рис. 2, 3, 5

петдагский и Амударьинский разломы. Сбросы развиты только на бортах Ферганской, Иссык-Кульской и других межгорных впадин. По данным космогеодезических измерений южная часть Северо-Евразийской плиты смещается на восток-северо-восток по азимуту $75-83^\circ$ СВ. В то же время азимуты горизонтальных перемещений таких блоков, как Гималаи, Тарим, Тянь-Шань в системе ITRF составляют $50-60^\circ$ СВ. Такое различие в азимутах приводит к преобладанию надвигов на большинстве границ блоков с главной литосферной плитой [Гатинский и др., 2005]. Скорости горизонтальных перемещений на станциях Восточного Узбекистана, Северной Киргизии и на соседней территории Казахстана изменяются от 26 до 30 мм/год, вертикальных – от $+0,5$ до $+2,0$ мм/год.

Таким образом, для Среднеазиатского региона устанавливается резко повышенное высвобождение сейсмической энергии на юго-западе Туркмении, на юго-востоке Узбекистана и Казахстана, в Таджикистане и Киргизии. Это требует специального режима безопасности как для существующих в этих частях региона, так и для проектируемых в дальнейшем электростанций, контроля подвижек в зонах сейсмо-

генных активных разломов, постоянного мониторинга уровня сейсмичности.

ЮЖНАЯ СИБИРЬ И ПРИЛЕГАЮЩИЕ РАЙОНЫ КАЗАХСТАНА, КИТАЯ И МОНГОЛИИ

В этом регионе также отсутствуют АЭС, но имеются многочисленные крупные гидро- и тепловые электростанции. Через территорию региона проходит южная граница Северо-Евразийской плиты (рис. 7). Она выражена зонами многочисленных активных разломов и полями повышения уровня сейсмической энергии до $1 \cdot 10^{12} - 1 \cdot 10^{17}$ эрг. Наибольшие значения ее наблюдаются на Алтае в России и Западной Монголии, в Западном и Восточном Саяне на территории Тывы и Монголии.

Большинство ТЭС и ГЭС в Новосибирской, Томской и Кемеровской областях, в Алтайском и на юге Красноярского края, в Иркутской области расположе-

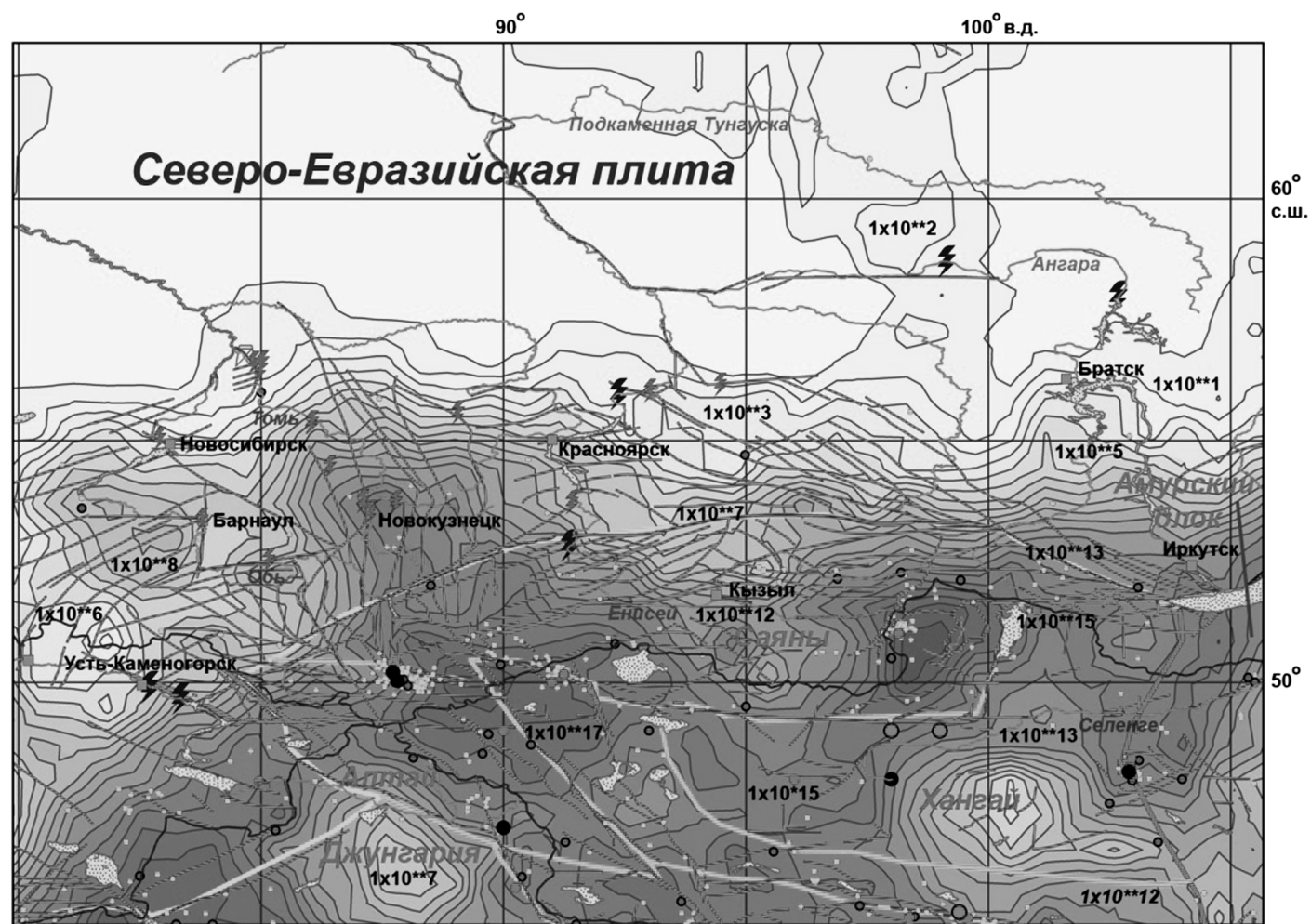


Рис. 7. Электростанции Южной Сибири и Восточного Казахстана. Условные обозначения см. на рис. 2, 3, 5

ны в диапазоне высвобождения сейсмической энергии в объеме $1 \cdot 10^2$ – $1 \cdot 10^8$ эрг, и только для ТЭС в районах Новокузнецка и Абакана уровень ее повышается до $1 \cdot 10^{11}$ – $1 \cdot 10^{14}$ эрг.

Узлы повышенной сейсмичности приурочены здесь к участкам пересечения активных разломов различных простираний: субширотных и восток-северо-восточных, преимущественно надвигов и северо-западных, в большинстве случаев правых сдвигов. Примеры можно видеть на юге Горного Алтая в междуречье Катунь и Бий на границе Алтайского и Саянского блоков, где сконцентрированы эпицентры землетрясений с M 4,0–7,9, на северо-западе Монголии к востоку от оз. Убсу-Нур на границе Западно-Монгольского и Саянского блоков, на востоке Тывы на левобережье Малого Енисея внутри Саянского блока и в других местах. Эпицентры самых сильных землетрясений с $M \geq 8$ зафиксированы на севере Монголии в зоне субширотного активного разлома, разделяющего блоки Саянский и Хангай. Отметим, что на таких высокосейсмичных участках отсутствуют крупные энергетические объекты. Наиболее стабильные блоки с докембрийским фундамен-

том (Хангай, Джунгария) характеризуются заметным уменьшением уровня сейсмичности в центральных частях (см. рис. 7).

Надвиги к югу и юго-западу с элементами сдвига отмечены на юге Саянского блока и в Хангае, надвиги к северо-востоку – на границе Саянского блока и Северо-Евразийской плиты. Правосдвиговая составляющая присутствует практически во всех северо-западных нарушениях, тогда как левосдвиговая – чаще в субширотных. Устойчивые растяжения характеризуют юго-восточную часть Байкальского рифта и расположенную к югу от Иркутска Тункинскую впадину. Направление векторов горизонтальных перемещений в системе ITRF изменяется от 75 – 87° СВ на западе региона на станциях Урумчи и Новосибирска до 96 – 108° ЮВ на востоке на станциях Красноярска, Иркутска и Улан-Батора при скоростях 20 – 26 мм/год. Скорости вертикальных движений не превышают $1,0$ – $1,5$ мм/год.

Как было показано выше, наиболее высокая сейсмичность существует на юге рассматриваемого региона в пределах южной части Северо-Евразийской

плиты и большинства блоков, расположенных к югу от нее. Это, наряду с обилием здесь активных разломов, обуславливает повышенную степень риска для существующих и проектируемых энергетических объектов, в частности в районах Новокузнецка и Абакана. Расположенные севернее и западнее электростанции в гораздо меньшей степени подвергаются такому риску.

ЗАБАЙКАЛЬЕ, ПРИАМУРЬЕ И ЮГ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА

Забайкальско-Дальневосточный регион расположен на границах Северо-Евразийской плиты с Амурским, Японско-Корейским блоками Восточно-Азиатской транзитной зоны и Охотским блоком Северо-Тихоокеанской транзитной зоны (рис. 8). Именно к этим границам, а также к границам блоков внутри транзитной зоны приурочены самые активные участки с уровнем сейсмичности $1 \cdot 10^8 - 1 \cdot 10^{21}$ эрг. Они выделяются на границе плиты с Амурским блоком

в районах Байкальского рифта и продолжающих его на северо-востоке активных разломов, на южной границе Амурского блока к западу и востоку от Пекина, в пределах Японско-Корейского блока в районе Владивостока и на границе Японско-Корейского и Охотского блоков на севере Сахалина.

Магнитуды землетрясений на упомянутых участках достигают 7,0–7,9, неоднократные катастрофические события происходили в Читинской области, на Сахалине, в различных частях Приморского края и в районе Пекина в Китае. Мы не располагаем данными о крупных электростанциях в перечисленных районах, за исключением двух ТЭС в районе Владивостока и одной в Забайкалье к югу от Улан-Удэ. Все остальные станции, включая крупную ГЭС на р. Зея, расположены на участках с уровнем высвобождающейся сейсмической энергии в объеме $1 \cdot 10^6$ эрг и меньше.

По данным СМТ в Байкальской зоне и на ее продолжении вдоль северной границы Амурского блока преобладают растяжения. На южной и юго-восточной границах этого блока по фокальным механизмам в эпицентрах устанавливаются преимущественно сдвиги с элементами растяжения или сжатия, а в зоне

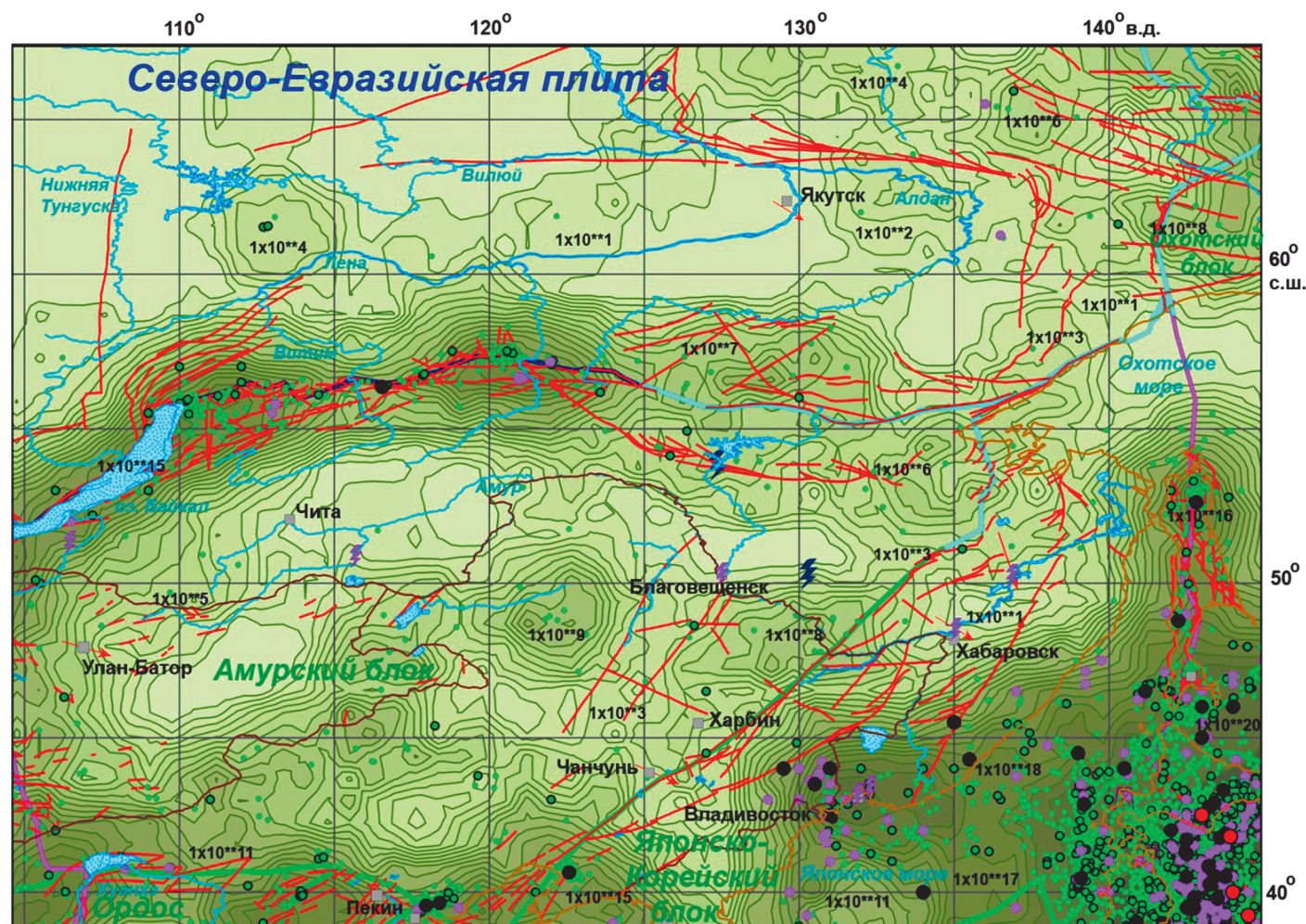


Рис. 8. Электростанции Забайкалья и Дальнего Востока. Условные обозначения см на рис. 2, 3, 5

активных разломов на Сахалине преобладают сжатия. На всех упомянутых участках глубина гипоцентров событий не превышает 40–80 км, и только около Владивостока она увеличивается до 480–640 км. Глубинные сбросы этого района связаны с продолжением сейсмофокальной плоскости, погружающейся от зоны субдукции Японского желоба.

Космогеодезические измерения в системе ITRF устанавливают горизонтальные перемещения Северо-Евразийской плиты и граничащих с ней блоков со скоростью 22–32 мм/год по азимутам от 105–107° СВ на западе около Байкала и Улан-Батора до 115–125° СВ на востоке у Чанчуня, Хабаровска и Якутска (см. рис. 8). Следовательно, установленный ранее поворот плиты по часовой стрелке продолжается вплоть до ее восточной границы. Вертикальные подвижки колеблются от +2,0 до +5,0 мм/год в Якутске и у Пекина и до –3,0...–4,0 мм/год в пределах неотектонических депрессий возле Хабаровска и Чанчуня.

Таким образом, можно констатировать, что в Забайкальско-Дальневосточном регионе наиболее сеймоопасные зоны приурочены к активным разломам на границах Амурского блока и ко внутренним частям Японско-Корейского блока, располагающегося

над зоной субдукции Тихоокеанской плиты. Но в указанные зоны попадает лишь незначительное число электростанций этого региона.

СЕВЕРО-ВОСТОК РОССИИ

Северо-восточный регион России находится на стыке трех главных литосферных плит: Северо-Американской, Северо-Евразийской и Тихоокеанской. В разделяющей их Северо-Тихоокеанской транзитной зоне выделяются Охотский и Беринговоморский (Берингия) блоки. Границы блоков проходят по активным разломам, в том числе по зонам субдукции Алеутской и Курило-Камчатской дуг.

Интенсивность высвобождения сейсмической энергии на западе региона в верховьях Колымы и Индигирки не превышает $1 \cdot 10^8 - 1 \cdot 10^{11}$ эрг, причем самые высокие значения ее приходятся на границы плит и блоков (рис. 9). Устанавливаются локальные возрастания интенсивности на участках сгущения активных разломов к западу от Магадана, к северо-западу от Усть-Омчуга и в других местах. В этой части регио-

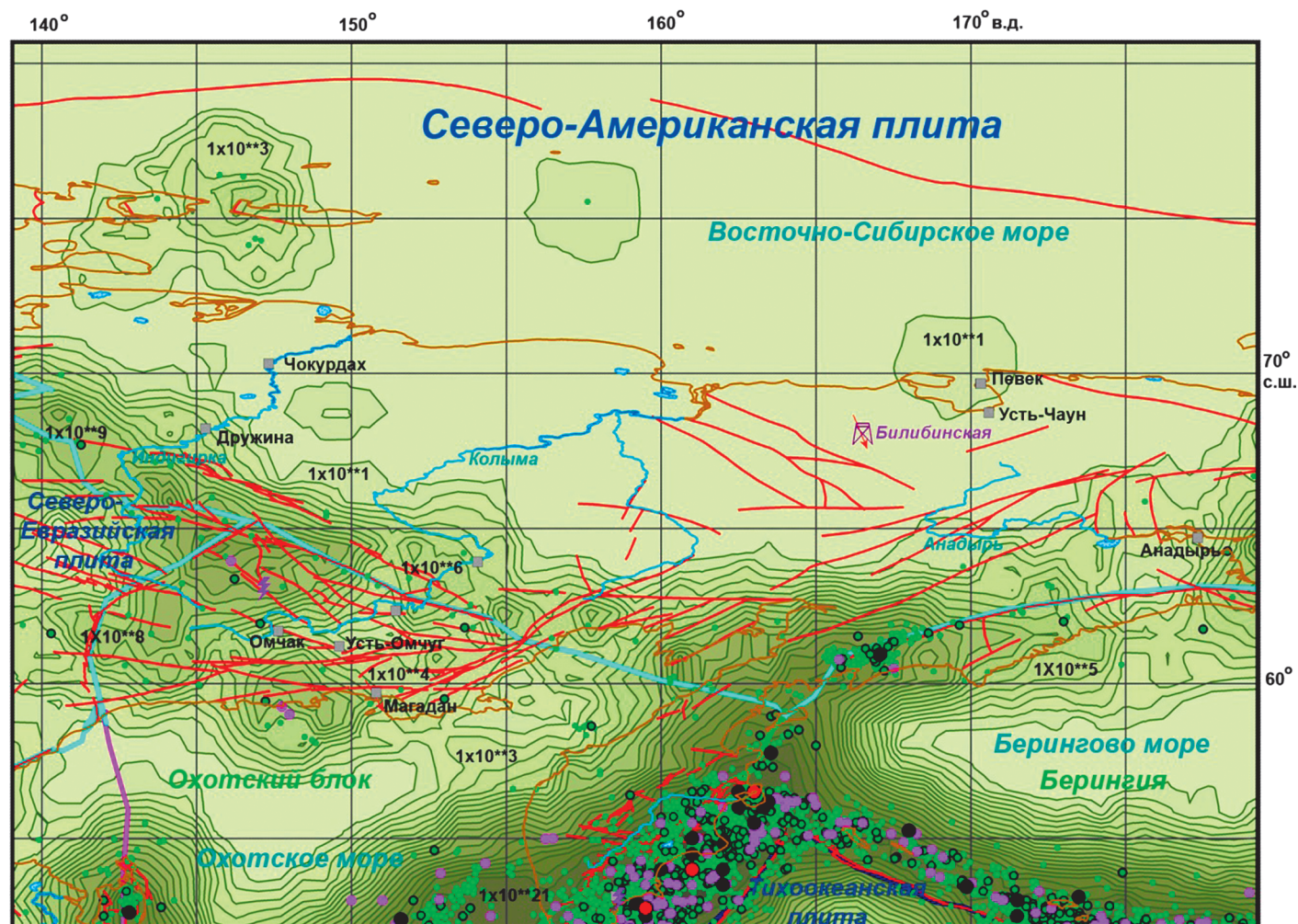


Рис. 9. Электростанции северо-востока России. Условные обозначения см на рис. 2, 3, 5

на преобладают северо-западные, реже субширотные активные нарушения, отвечающие левосторонним сдвигам со сжатием. В результате дешифрирования космоснимков масштаба 1 : 500 000 нами здесь установлены также системы линеаментов как совпадающих с активными разломами северо-западного простирания, так и поперечных северо-северо-восточных (в первую очередь, на Охотском массиве к западу от Магадана), отвечающих, по-видимому, более древним разломам. Магнитуды землетрясений в этой части региона обычно не превышают 4,0–5,9, редко возрастающая до 6,0–6,9, глубина очагов преимущественно до 40 км.

Восточнее на побережье северной части Охотского моря и в Корякии развиты северо-восточные надвиги с разнонаправленными сдвиговыми элементами. Интенсивность сейсмической энергии здесь не более $1 \cdot 10^8$ – $1 \cdot 10^{10}$ эрг, а единственная на северо-востоке России действующая Билибинская АЭС находится в нулевом поле. На Чукотке в районе Анадыря и к востоку от Певека появляются субширотные и запад-северо-западные активные разломы. Судя по взаимоотношениям на космоснимках северо-восточные разломы и линеаменты моложе, чем субширотные и северо-западные. В пределах Курило-Камчатской дуги отчетливо фиксируется сейсмофокальная зона погружения Тихоокеанской плиты под Восточную Азию с изменением глубины гипоцентров от 0–80 до 400–640 км. В верхней части зоны преобладают сжатия, а ниже – глубинные сбросы (до 320 км в тылу Камчатской части дуги и до 640 км в тылу Курильской). Интенсивность высвобождающейся энергии достигает здесь $1 \cdot 10^{21}$ эрг, а максимальные магнитуды землетрясений в глубоководном желобе у восточного побережья Камчатки составляют ≥ 8 .

По данным космогеодезических измерений Северо-Американская плита на станции в Билибино смещается по азимуту 157° ЮВ со скоростью 22,3 мм/год, Охотский блок на станции в Магадане по азимуту 149° ЮВ со скоростью 22,9 мм/год, а Северо-Евразийская плита на станции в Якутске по азимуту 121° ЮВ. Заметная разница в азимутах горизонтального перемещения приводит к появлению современной надвиговой составляющей на границах этих структур в сейсмической зоне хр. Черского [Тектоника..., 2001]. Вертикальные подвижки изменяются от +2,6 (Билибино) до –2,0 мм/год (Магадан).

В районе Билибинской АЭС возможно существование повышенного теплового потока, так как измерения его восточнее на Чукотке составили 60–80 мВат/м², тогда как к северу от Магадана значения колеблются в пределах 53–65 мВат/м² [Подгорных, 1997]. Геотермальный градиент по данным из той же работы в верховьях Колымы оценивается в 20–25 °С, а на Чукотке в 25–30 °С/1000 м. Эти результаты совпадают с проявлениями плюмового магматизма непосредственно к югу от района Билибинской АЭС на Омолонском массиве, где они представлены четвертичными щелочными базальтами и раннемеловыми

пикритами, и в Олойской зоне, где этим процессам отвечают раннемеловые лампроиты и шошониты [Сахно, Моисеенко, 2002]. Магматические породы такого состава, как правило, бывают приурочены к зонам растяжения земной коры, которое имело место в этой части северо-востока России во второй половине мезозоя и в кайнозое [Тектоника..., 2001].

Подводя итог рассмотрению северо-восточного региона, отметим, что повышенная сейсмичность приурочена здесь, как и в большинстве других регионов, в первую очередь к границам плит и блоков. Это требует подходить выборочно к проектированию новых энергетических объектов на данной территории. Единственная здесь Билибинская атомная станция находится на участке без проявления сейсмичности и существенных современных геодинамических подвижек, однако не исключено существование в ее районе повышенного теплового потока.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенный сейсмо-геодинамический мониторинг энергетических объектов на территории России и ближнего зарубежья позволяет сделать следующие выводы.

1. Большинство АЭС европейской части России наряду с крупными тепловыми и гидроэлектростанциями расположено в пределах Северо-Евразийской литосферной плиты со слабым проявлением или полным отсутствием сейсмической активности и современных тектонических подвижек, кроме различных экзогенных процессов (карст, оползни и т.п.). Также в асейсмичном районе находится Билибинская АЭС на северо-востоке России.
2. В относительной близости к зонам умеренной сейсмической активности с интенсивностью до $1 \cdot 10^3$ – $1 \cdot 10^{10}$ эрг расположены действующие, проектируемые и недостроенные или остановленные АЭС в Калининградской, Ленинградской и Ростовской областях, на Кольском п-ове и на юге Украины. В такой же ситуации находятся крупные ТЭС и ГЭС в тех же районах и в Прибалтике, Белоруссии, Украине, на Северном Урале, в Прикаспии, Новосибирской и Иркутской областях, на юге Красноярского и Хабаровского краев.
3. В зоны развития активных разломов и повышенной сейсмичности с интенсивностью до $1 \cdot 10^{11}$ – $1 \cdot 10^{16}$ эрг попадают АЭС, тепловые и гидроэлектростанции в Восточном Крыму, Ставропольском и Краснодарском краях, на юге Казахстана, в Кемеровской и Магаданской областях, Забайкалье и Приморском крае, на Сахалине. Часть из этих объектов расположена в пределах отдельных блоков транзитных зон, разделяющих главные литосферные плиты и характеризующихся повышенной современной тектонической активностью.

Таблица. Объемы сейсмической энергии, высвобождающейся в межблоковых зонах на территории России и стран ближнего зарубежья

Границы блоков	Общая энергия, эрг	Длина границ, км	Удельная энергия
Паннонский – СЕП	$2,66470 \cdot 10^{22}$	1620,4	$1,644 \cdot 10^{19}$
Вост. Понт – Малокавказский	$1,96293 \cdot 10^{22}$	379,5	$5,172 \cdot 10^{19}$
Вост.-Кавказский – СЕП	$2,24797 \cdot 10^{21}$	503,2	$4,467 \cdot 10^{18}$
Вост.-Кавказский – Малокавказский	$2,24797 \cdot 10^{21}$	503,2	$4,467 \cdot 10^{18}$
Южно-Каспийский – Иранский	$2,48735 \cdot 10^{23}$	1224,3	$2,032 \cdot 10^{20}$
Южно-Каспийский – СЕП	$1,34440 \cdot 10^{23}$	978,6	$1,374 \cdot 10^{20}$
Памир – Гималаи	$5,43111 \cdot 10^{22}$	531,9	$1,021 \cdot 10^{20}$
Памир – СЕП	$7,26692 \cdot 10^{22}$	503,6	$1,443 \cdot 10^{20}$
Тянь-Шань – СЕП	$5,63879 \cdot 10^{23}$	1421,2	$3,968 \cdot 10^{20}$
Тянь-Шань – Тарим	$4,84380 \cdot 10^{23}$	1683,5	$2,877 \cdot 10^{20}$
Саянский – СЕП	$1,43255 \cdot 10^{22}$	1211,9	$1,182 \cdot 10^{19}$
Саянский – Хангай	$3,85269 \cdot 10^{22}$	1247,4	$3,088 \cdot 10^{19}$
Амурский – Хангай	$1,85598 \cdot 10^{22}$	635,7	$2,919 \cdot 10^{19}$
Амурский – Японско-Корейский	$6,63646 \cdot 10^{23}$	3205,4	$2,070 \cdot 10^{20}$
Амурский – СЕП	$3,32561 \cdot 10^{22}$	2538,4	$1,310 \cdot 10^{19}$
Японско-Корейский – Охотский	$1,48524 \cdot 10^{23}$	1538,7	$9,653 \cdot 10^{19}$
Японско-Корейский – Северо-Японский	$4,17527 \cdot 10^{23}$	804,0	$5,193 \cdot 10^{20}$

Полужирным шрифтом выделены межблоковые зоны и границы плит с удельной сейсмической энергией $> 4,5 \cdot 10^{19}$ эрг. СЕП – Северо-Евразийская плита.

4. Наибольшей опасности подвергаются электростанции, находящиеся в транзитных зонах между Северо-Евразийской, Аравийской и Индийской литосферными плитами, где еще не закончились процессы коллизии и интенсивность высвобождающейся сейсмической энергии достигает $1 \cdot 10^{17} - 1 \cdot 10^{21}$ эрг. Сюда относятся объекты в Средней Азии, на Северном Кавказе и в Закавказье, включая АЭС в Армении.
5. При проектировании новых АЭС и других крупных электростанций целесообразно избегать площадей в пределах межблоковых зон на границах блоков и литосферных плит, к которым, как правило, приурочена максимальная сейсмическая активность. Методика выделения межблоковых зон и подсчета высвобождающейся в них сейсмической энергии приведена в работах [Gatinsky et al., 2009, 2011]. Объемы энергии в некоторых из таких зон, расположенных на рассмотренной в данной статье территории, показаны в таблице.

Настоящее работа выполнена при поддержке Программы 4 фундаментальных исследований Президиума РАН и гранта РФФИ № 09-05-00666. Авторы признательны доктору геол.-мин. наук Л.Е. Собисевичу за полезные советы и замечания в ходе проведения исследований.

ЛИТЕРАТУРА

- Бугаев Е.Г., Калиберда И.В., Лавров И.М., Фихиева Л.М., Бенедик А.Л., Степанов В.В., Шварев С.В., Юнга С.Л. Оценка сейсмической опасности участков размещения ядерно- и радиационно-опасных объектов на основании геодинамических данных РБ-019-01. Москва: Госатомнадзор России, 2001.
- Гатинский Ю.Г., Рундквист Д.В., Тюпкин Ю.С. Блоковая структура и кинематика Восточной и Центральной Азии по данным GPS // Геотектоника. 2005. № 5. С. 3–19.
- Гатинский Ю.Г., Рундквист Д.В., Тюпкин Ю.С. Блоковые структуры и кинематика Западной Евразии по данным GPS // Геотектоника. 2007. № 1. С. 30–42.
- Гатинский Ю.Г., Захаров В.И., Владова Г.Л., Прохорова Т.В. Применение методов дистанционного зондирования для выбора площадки строительства АЭС // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. Тезисы докл. 8-й открытой Всероссийской конференции 15–19 ноября 2010 г. М.: ИКИ РАН. 2010. С. 262–263.
- Подгорных Л.В. Карта теплового потока полярных областей масштаба 1 : 3 000 000. М.: Недра. 1997.
- Рундквист Д.В., Гатинский Ю.Г., Буш В.А., Кособоков В.Г. Территория России в современной структуре Евразии // Вычислительная сейсмология. 2001. Вып. 32. С. 266–277.

Сахно В.Г., Моисеенко В.Г. Плюмовый вулканизм континентальных окраин востока Азии / Ред. А.Ф. Грачев // Мантийные плюмы и металлогения. Материалы международного симпозиума. Петрозаводск. М: АНО НИ «Центр геофизических исследований», 2002. С. 196–199.

Тектоника, геодинамика и металлогения территории Республики Саха (Якутия). / Ред. Л.М. Парфенов, М.И. Кузьмин. М.: МАИК «Наука/Интерпериодика», 2001. 571 с.

Трифонов В.Г., Соболева О.В., Трифонов Р.В., Востриков Г.А. Современная геодинамика Альпийско-Гималайского коллизийного пояса. М.: ГЕОС, 2002. 225 с.

Gatinsky Yu. G., Prokhorova T.V., Rundquist D.V., Vladova G.L. Zones of catastrophic earthquakes of Central Asia: Geodynamics

and seismic energy // Russ. J. Earth Sci. 2009. V. 11, N 1. ES1001, <http://dx.doi.org/10.2205/2009ES000326>

Gatinsky, Yu., Rundquist D., Vladova G., Prokhorova T., Up-to-date geodynamics and seismicity of Central Asia // International Journal of Geosciences 2011.V. 2, N 1. P. 1–12.

Rundquist D.V., Gatinsky Yu.G., Bush W.A., Kossobokov V.G. The area of Russia in the present-day structure of Eurasia: Geodynamics and seismicity // Computational Seismology and Geodynamics / Ed. D.K. Chowdhury. Washington D.C.: Am. Geophys. Union, 2005. Vol. 7. P. 224–233.

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Ю.Г. Гатинский, Д.В. Рундквист, Г.Л. Власова, Т.В. Прохорова</i> СЕЙСМО-ГЕОДИНАМИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ГЛАВНЕЙШИХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ РОССИИ И БЛИЖНЕГО ЗАРУБЕЖЬЯ	13
<i>В.И. Осипов, Н.И. Фролова, С.П. Суцев, В.И. Ларионов</i> ОЦЕНКА СЕЙСМИЧЕСКОГО И ПРИРОДНОГО РИСКА ДЛЯ НАСЕЛЕНИЯ И ТЕРРИТОРИЙ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ	28
<i>В.И. Величкин, Б.П. Власов, М.В. Шумилин</i> ОСНОВНЫЕ ПРОМЫШЛЕННО-ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ТИПЫ УРАНОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ БЫВШЕГО СССР И РОССИИ	49
<i>С.А. Дмитриев, В.И. Величкин, Б.И. Омеляненко</i> ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОЙ ИЗОЛЯЦИИ ЖИДКИХ ОТХОДОВ НИЗКОГО И СРЕДНЕГО УРОВНЕЙ РАДИОАКТИВНОСТИ	64
<i>В.И. Величкин, В.И. Мальковский, Н.Н. Тарасов, Ю.П. Диков</i> АНАЛИЗ УСЛОВИЙ МИГРАЦИИ РАДИОНУКЛИДОВ В ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЕ В РАЙОНЕ ОЗЕРА КАРАЧАЙ (ЧЕЛЯБИНСКАЯ ОБЛАСТЬ)	77
<i>Б.И. Омеляненко, В.И. Величкин, С.В. Юдинцев</i> ПОВЕДЕНИЕ АКТИНИДОВ В УСЛОВИЯХ ДОЛГОСРОЧНОГО ХРАНЕНИЯ И ЗАХОРОНЕНИЯ ОТРАБОТАННОГО ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА	86
<i>С.В. Юдинцев, Б.И. Омеляненко</i> ГЕОХИМИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ИЗОЛЯЦИИ ТЕХНЕЦИЯ	99
<i>И.Н. Солодов, А.К. Лисицин</i> ПОЛИЭЛЕМЕНТНЫЕ ЭКЗОГЕННЫЕ ЭПИГЕНЕТИЧЕСКИЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ УРАНА: ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ТИПЫ И МЕТАЛЛЫ, ИЗВЛЕКАЕМЫЕ СЕРНОКИСЛОТНЫМ ПОДЗЕМНЫМ ВЫЩЕЛАЧИВАНИЕМ	109
<i>В.А. Петров, В.В. Полуэктов, Р.М. Насимов, А.А. Бурмистров, С.И. Щукин, Й. Хаммер</i> ИЗУЧЕНИЕ ПРИРОДНЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ ПРОЦЕССОВ НА УРАНОВОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ В ГРАНИТАХ ДЛЯ ОБОСНОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ДЛИТЕЛЬНОЙ ИЗОЛЯЦИИ ОЯТ	124
<i>В.М. Котляков, Л.Н. Васильев, М.Ю. Москалевский</i> БАЛАНС МАССЫ АНТАРКТИЧЕСКОГО ЛЕДНИКОВОГО ПОКРОВА	139

<i>Ю.Я. Мачерет, А.Ф. Глазовский, И.И. Лаврентьев</i> ВОДА В ПОЛИТЕРМИЧЕСКИХ И ТЕПЛЫХ ЛЕДНИКАХ	152
<i>В.Н. Михаленко, С.С. Кутузов, О.В. Нагорнов, С.А. Тюфлин, И.И. Лаврентьев, С.А. Марченко, В.И. Окопный</i> СТРАТИГРАФИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ И ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ ФИРНОВО-ЛЕДЯНОЙ ТОЛЩИ НА ЗАПАДНОМ ПЛАТО ЭЛЬБРУСА	180
<i>Ю.П. Масуренков, А.Л. Собисевич</i> ЭЛЬБРУССКОЕ ОЛЕДЕНЕНИЕ – ИНДИКАТОР ГЕОТЕРМИЧЕСКОГО И ФЛЮИДНОГО СОСТОЯНИЯ ВУЛКАНА	189
<i>А.Н. Хименков, Г.З. Перлыштейн, Д.О. Сергеев, А.Н. Власов, В.П. Мерзляков, Ю.В. Халилова</i> ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОЦЕНКИ РИСКА ОПАСНЫХ ПРОЦЕССОВ В КРИОЛИТОЗОНЕ	205
<i>Е.В. Коротеева, Е.И. Вейсберг, Н.Б. Куянцева, С.А. Лесина</i> ВЛИЯНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ДИНАМИКУ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА ВОСТОЧНЫХ ПРЕДГОРИЙ ЮЖНОГО УРАЛА	213
<i>А.Ю. Кудеярова</i> ТРАНСФОРМАЦИЯ ПРИРОДНЫХ СОРБЦИОННЫХ БАРЬЕРОВ ПРИ ЗАФОСФАЧИВАНИИ КИСЛЫХ ПОЧВ	223
<i>И.В. Галицкая, И.А. Позднякова, Л.С. Томс</i> МЕТОДОЛОГИЯ И МЕТОДИКА ПРОГНОЗА И УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОПРИРОДНЫМ ГЕОХИМИЧЕСКИМ РИСКОМ НА УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ	239
<i>Л.С. Кучмент, А.Н. Гельфан</i> СОВМЕСТНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЕРОЯТНОСТНЫХ И ДЕТЕРМИНИСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ МАСШТАБОВ И РИСКА КАТАСТРОФИЧЕСКИХ НАВОДНЕНИЙ НА ОСНОВЕ ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ФОРМИРОВАНИЯ СТОКА	252
<i>В.В. Адушкин, П.П. Фирстов</i> ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛОЗИВНЫХ ПРОЦЕССОВ ВУЛКАНИЧЕСКИХ ИЗВЕРЖЕНИЙ И ИХ ПРОЯВЛЕНИЕ В ВОЛНОВЫХ ВОЗМУЩЕНИЯХ В АТМОСФЕРЕ	264
<i>А.Ю. Озеров</i> МЕХАНИЗМ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ФОНТАНИРОВАНИЯ БАЗАЛЬТОВЫХ ВУЛКАНОВ (ПО ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМ ИССЛЕДОВАНИЯМ И ПРИРОДНЫМ НАБЛЮДЕНИЯМ)	279
<i>О.В. Руденко, А.Л. Собисевич, Л.Е. Собисевич</i> О ФИЗИКЕ АКУСТИЧЕСКИХ НЕЛИНЕЙНОСТЕЙ И МЕДЛЕННЫХ ВОЛНАХ В ГРАНУЛИРОВАННОЙ ФЛЮИДОНАСЫЩЕННОЙ СРЕДЕ	299
<i>В.Н. Николаевский</i> ОЧАГ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ – СОБЫТИЯ И ПРЕДВЕСТНИКИ УДАРА	316
<i>Б.В. Левин, Г.В. Шевченко, В.М. Кайстренко, Т.Н. Ивельская, Т.К. Пинегина, Н.Г. Разжигаева</i> ПРОБЛЕМА ЦУНАМИ: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ (ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ АСПЕКТ)	332
<i>В.А. Семенов, И.И. Мохов, М. Латиф</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ В РЕГИОНАХ СЕВЕРНОЙ ЕВРАЗИИ ЗА ПОСЛЕДНИЕ ДЕСЯТИЛЕТИЯ	355

Ю.Н. Авсюк, А.Л. Собисевич

ПРИЛИВНАЯ ЭВОЛЮЦИЯ СИСТЕМЫ ЗЕМЛЯ – ЛУНА – СОЛНЦЕ И ГЕОДИНАМИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ЗЕМЛИ	373
--	-----

В.Ч. Хон, И.И. Мохов

ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО ЦИКЛА К ИЗМЕНЕНИЮ ОРБИТАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ И КОНЦЕНТРАЦИИ АНТРОПОГЕННЫХ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ	392
---	-----

*В.М. Григорьев, Л.В. Ермакова, А.В. Мордвинов, Ю.А. Наговицын, А.Г. Тлатов,
В.Г. Иванов, Е.В. Милецкий, Е.Ю. Наговицына, А.И. Хлыстова, С.А. Язев*

ВОЗНИКНОВЕНИЕ АКТИВНЫХ ОБЛАСТЕЙ НА СОЛНЦЕ, ИЗМЕНЕНИЯ ЕГО ГЛОБАЛЬНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ В 11-ЛЕТНЕМ ЦИКЛЕ И НА ДЛИТЕЛЬНОЙ ШКАЛЕ ВРЕМЕНИ	399
---	-----

С.И. Сороко, В.П. Рожков, Е.Г. Сергеева, С.С. Бекшаев, С.С.Андреева, И.В.Николаев

ОСОБЕННОСТИ МОРФОФУНКЦИОНАЛЬНОГО РАЗВИТИЯ ЦЕНТРАЛЬНОЙ НЕРВНОЙ СИСТЕМЫ И ГЕМОДИНАМИКИ МОЗГА У ДЕТЕЙ И ПОДРОСТКОВ В УСЛОВИЯХ ЕВРОПЕЙСКОГО И ДАЛЬНЕВОСТОЧНОГО СЕВЕРА	413
---	-----

Научное издание

ЭКСТРЕМАЛЬНЫЕ ПРИРОДНЫЕ ЯВЛЕНИЯ И КАТАСТРОФЫ

В 2 томах

Том 2

ГЕОЛОГИЯ УРАНА, ГЕОЭКОЛОГИЯ, ГЛЯЦИОЛОГИЯ

*Печатается по решению Научного совета Программы
фундаментальных исследований президиума РАН № 4*

Ответственный составитель д.ф.-м.н. *Собисевич Алексей Леонидович*

Технический редактор *В.И. Горбенко*
Компьютерная верстка *К.А. Мордвинцев*
Корректор *С.Б. Сулова*

Подписано в печать 05.09.11. Формат 60×90/8
Гарнитура Таймс. Бумага мелованная. Печать офсетная
Усл. печ. л. 54. Тираж 200 экз.

ИФЗ им. О.Ю. Шмидта РАН
123995 ГСП-5, Д-242, Москва, ул. Б. Грузинская, 10

Отпечатано в типографии издательства «ПРОБЕЛ 2000»
109544 Москва, ул. Рабочая, 91