

предположение о возможности возникновения сильных землетрясений в этих зонах в будущем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Адамова А.А., Сабитова Т.М., Миркин Е.Л., Багманова Н.Х. Модели для блочной аппроксимации распределения скорости с использованием SPHYRIT 90 (алгоритм С. Рекера). // Земная кора и верхняя мантия Тянь-Шаня в связи с геодинамикой и сейсмичностью / Под ред. Бакирова А.Б., Бишкек: Илим. 2006. С.9-18.
2. Сабитова Т.М., Адамова А.А., Миркин Е.Л. Критерии выделения зон возможных очагов землетрясений // Земная кора и верхняя мантия Тянь-Шаня в связи с геодинамикой и сейсмичностью / Под ред. Бакирова А.Б., Бишкек: Илим. 2006. С.51-55.
3. Карта сейсмического районирования территории Кыргызской Республики в масштабе 1:1000000. Бишкек: 2011. 25 с.

УДК 550.343.4

О МОДЕЛЯХ СЕЙСМИЧНОСТИ ПРИ ОЦЕНКЕ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ

**Уломов В.И., Перетокин С.А., Медведева Н.С.,
Акатова К.Н., Данилова Т.И.**

*Институт физики Земли им. О.Ю.Шмидта Российская Академия наук, Москва
e-mail: dana-geo@yandex.ru*

В 1991-1997 гг. произошла смена парадигмы сейсмического районирования. Были разработаны целостная методология оценки сейсмической опасности и новая концепция моделирования сейсмических источников – линеаментно-доменно-фокальная (ЛДФ) модель зон возникновения очагов землетрясений (зоны ВОЗ), научные основы которой были заложены в [1]. Вместо одной детерминистской карты общего сейсмического районирования (ОСР) территории СССР, традиционно обновлявшейся каждые 10 лет, начиная с 1937 г., впервые был создан комплект вероятностных карт ОСР-97, ставших нормативными для осуществления сейсмостойкого строительства в РФ [2]. Наиболее полно современное состояние в этой области сейсмологических знаний изложено в работе [2], положившей начало нашим совместным инженерно-сейсмологическим и инженерно-геологическим многолетним исследованиям по совершенствованию ОСР [3, 4].

В 2016 году завершились исследования по созданию комплекта новых карт ОСР-2016, предназначенных для замены карт ОСР-97 территории РФ, отслуживших положенный им срок применения в строительной отрасли. Работа выполнялась большим коллективом специалистов из многих академических и отраслевых институтов и организаций страны. Ниже, на примере юга Сибири, иллюстрируются фрагменты одного из промежуточных этапов исследований по ОСР-2016, имевшего целью сравнение двух модификаций карт – ОСР-2012 и ОСР-2014, выполненных на основе одной и той же ЛДФ-модели источников

землетрясений, но разных подходов к моделированию сейсмического режима (рис. 1, 2) [3].

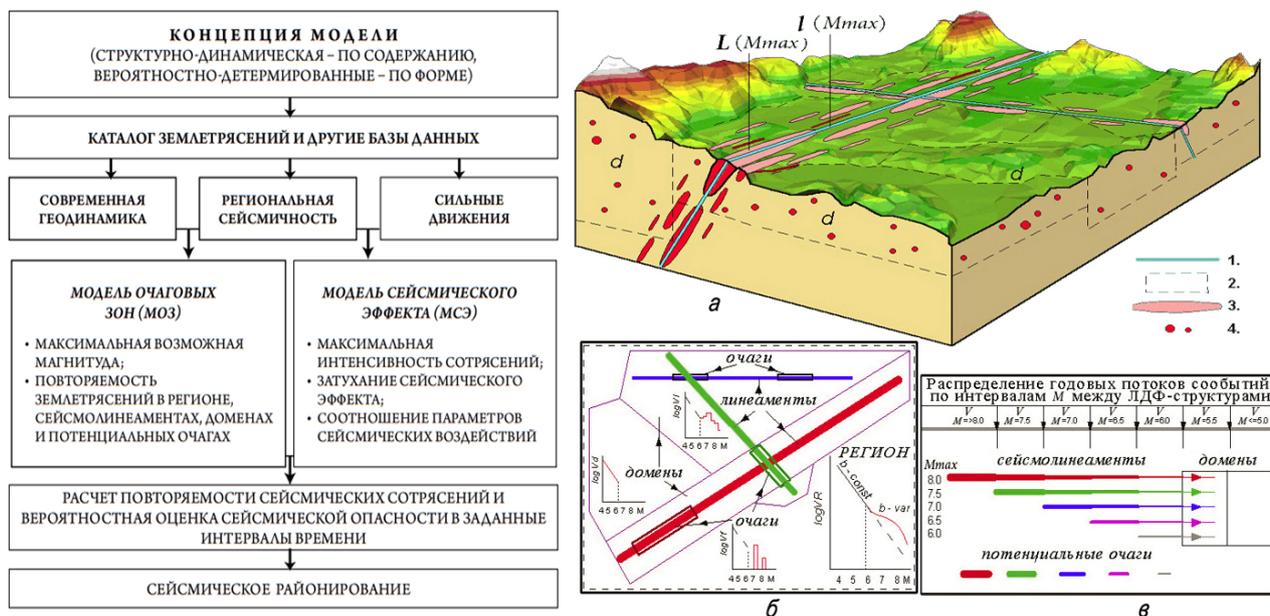


Рис. 1. Концепция ЛДФ-модели источников землетрясений и её сейсмогеодинамической параметризации [1, 2]: а. 1 –линеаменты l ; 2 – домены; 3 – сейсмические очаги L с $M_{max} \geq 7.0 \pm 0.2$ вдоль линеаментов; 4 – землетрясения в доменах с $M_{max} \leq 6.5 \pm 0.2$. б. R – регион, l – линеаменты, d – домены, f – потенциальные очаги и свойственные им графики повторяемости землетрясений; в. среднегодовая плотность V потоков сейсмических событий разных магнитуд M_s .

В варианте ОСР-2012 применялось экспоненциальное осреднение графиков повторяемости сейсмических событий во всём интервале рассматриваемых магнитуд M_s , а в варианте ОСР-2014, как и при ОСР-97, а затем и при ОСР-2016, графики представлялись в форме гистограмм отдельно по магнитудам с шагом 0.5 в интервалах ± 0.2 единицы M_s .

Как видно по конфигурации условных графиков повторяемости, показанных на рис. 1б, крупные сейсмические события с $M_s \geq 5.8 \pm 0.2$ вдоль линеаментов возникают гораздо чаще, чем это следовало бы из экспоненциального представления графиков, свойственных доменным структурам в интервале магнитуд $M_s \leq 5.7 \pm 0.2$. Впервые это явление было обнаружено и объяснено в монографии [1].

Потенциальные очаги с $M_s \geq 7.0 \pm 0.2$, возникающие в современную эпоху или выявляемые по историческим или сейсмотектоническим данным, обычно не вписываются в стационарный сейсмический режим региона и рассматриваются обособленно от него [3, 5]. К таким землетрясениям относятся Газлийские 1976 и 1984 гг. в Узбекистане, Тань-Шаньское 1976 г. в Китае, Нью-Мадридские 1811-1812 гг. в США и др. Впоследствии такие сейсмические события стали называться характеристическими, а экспоненциально-гистограммные графики повторяемости землетрясений получили наименование гибридные [3, 6].

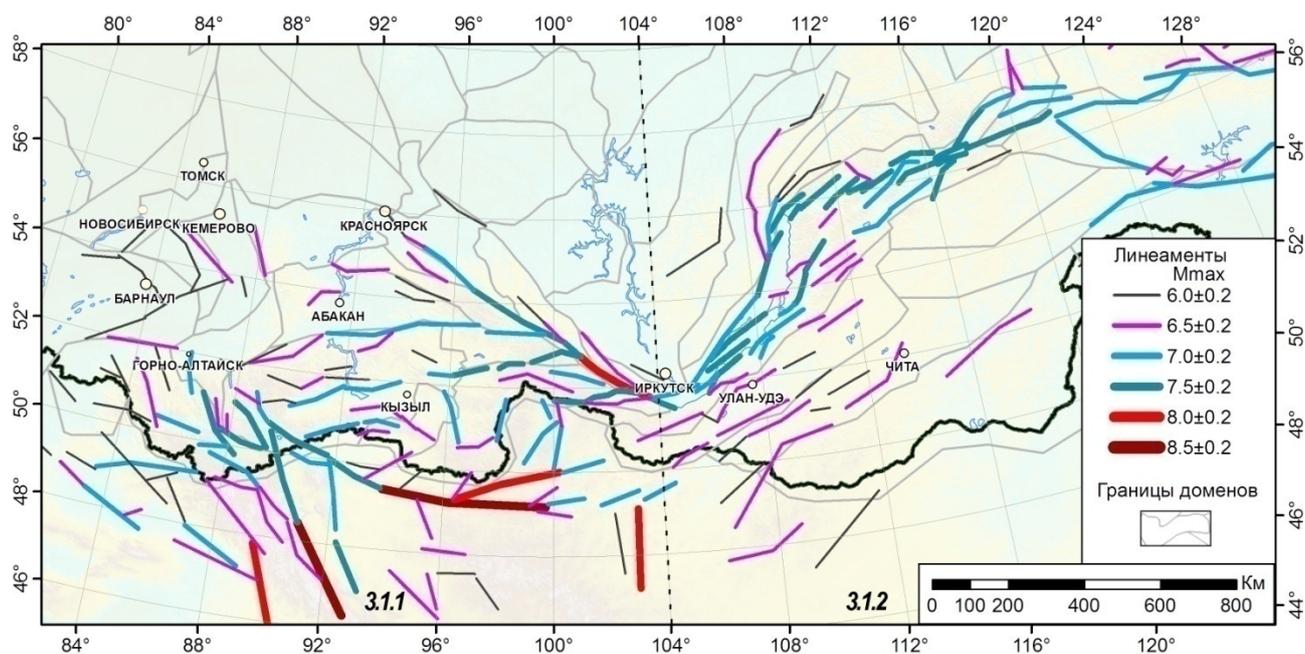


Рис. 2. ЛДФ-модель зон возникновения очагов землетрясений на юге Сибири. Пунктиром показана условная граница между Алтай-Саянским (3.1.1) и Байкальским (3.1.2) субрегионами.

Одним из преимуществ вероятностного анализа сейсмической опасности (ВАСО), применяемого при современном сейсмическом районировании, перед детерминистским подходом (ДАСО), является минимальная роль в гипотетической оценке максимальной возможной магнитуды M_{max} землетрясений в регионе. Вместе с тем, приобретает особое значение анализ изменений сейсмического режима в пространстве и во времени. Как показывают исследования такие изменения могут наблюдаться не только на региональном уровне, но и в глобальных масштабах [7–9].

На рис. 3 и 4 приведены результаты анализа изменений сейсмического режима в указанных интервалах магнитуд в рассматриваемых субрегионах юга Сибири – 3.1.1 и 3.1.2. На графиках накопления сейсмических событий выбирались максимальные по продолжительности интервалы времени, в течение которых графики имели преимущественно прямолинейный вид и обеспечивали максимальную скорость накопления сведений о сейсмических событиях, т.е. наблюдался минимальный период повторяемости землетрясений, обуславливающий более высокие оценки сейсмической опасности. Простейшее же осреднение всей совокупности графиков, независимо от изменения их конфигурации, приводит к занижению оценок сейсмической опасности.

Результаты расчетов по выделенным на рис.3 и 4 участкам графиков накопления сейсмических событий представлены в виде сводных графиков повторяемости землетрясений разных магнитуд в регионах 3.1.1 и 3.1.2 на рис.5.

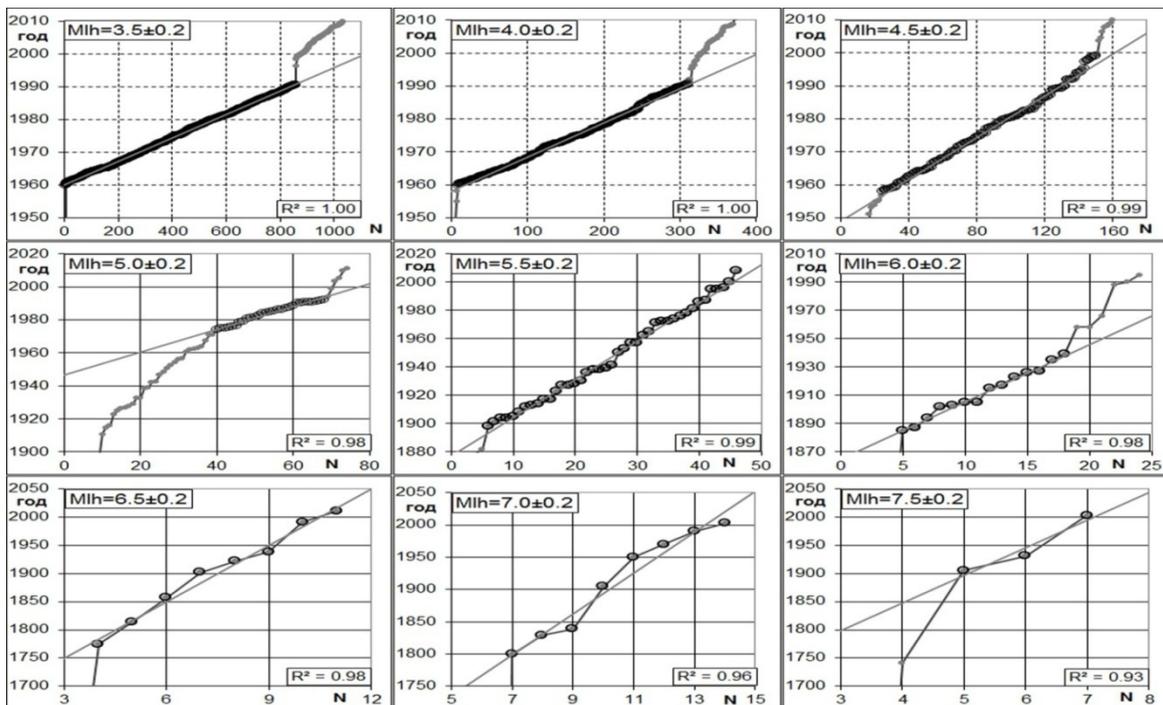


Рис.3. Графики накопления сейсмических событий разных магнитуд в субрегионе 3.1.1.

Как видно на рис.5, точечные значения, осредненные методом максимального правдоподобия (ММП), имеют форму экспонент, от которых на интервале магнитуд, свойственных сейсмолинеаментам, все точки отклоняются вверх, указывая на более высокую частоту возникновения таких сейсмических событий. Для доменных структур, как видно на рис.5, все точечные значения совпадают с экспонентами. В методологии ОСР-97, примененной также и при ОСР-2014, все отклонения от экспоненты признаются значимыми и, как было

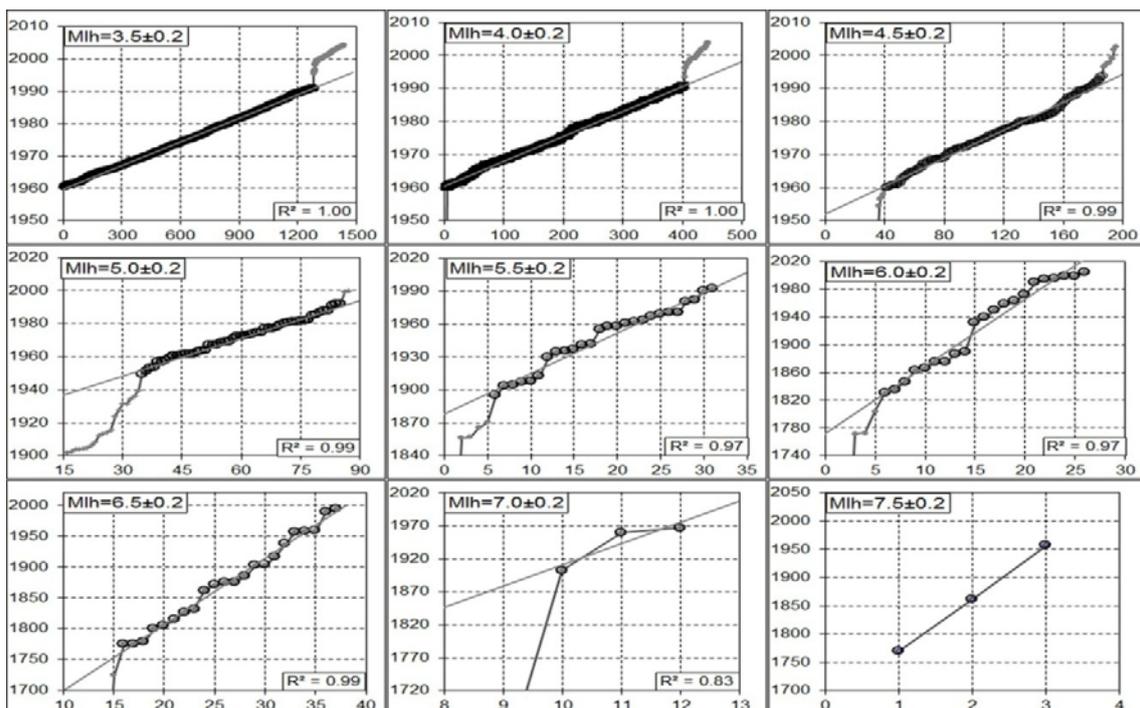


Рис.4. Графики накопления сейсмических событий разных магнитуд в субрегионе 3.1.2.

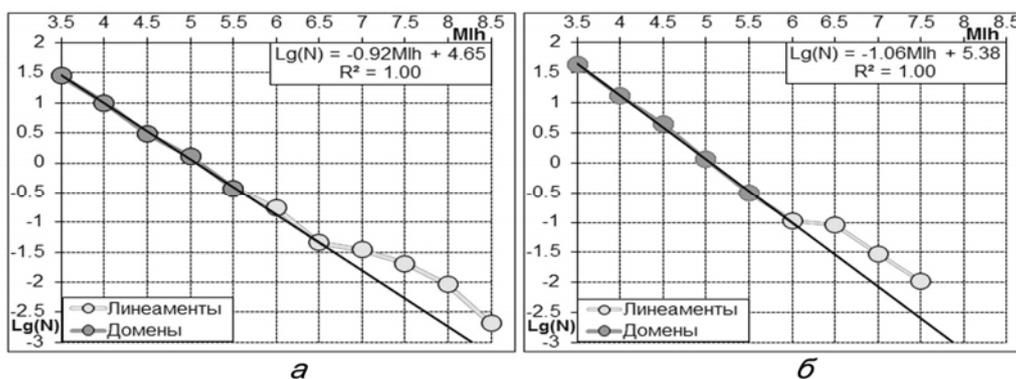


Рис 5. Графики повторяемости землетрясений в регионах 3.1.1 (а) и 3.1.2 (б) юга Сибири, построенные по одному каталогу землетрясений, но представленные разными способами — в виде экспонент (прямые линии) и раздельно по магнитудам (точечные данные) 1, 2 – значения магнитуд Mlh , относящихся к линеаментам (1) и к доменам (2).

показано на рис.1, рассматриваются в форме гистограмм для линеаментных структур и в форме экспонент — для доменной составляющей ЛДФ-модели зон ВОЗ, образуя «гибридную» модель сейсмического режима.

Осуществлено сопоставление полученных оценок сейсмической опасности с данными о макросейсмическом эффекте сильных и сильнейших землетрясений, в том числе, произошедших в инструментальный период и известных по историческим и геологическим данным (рис. 7). Аналогичные расчёты и построения выполнены для всех регионов территории страны. Как уже отмечалось, все карты ОСР, в том числе итоговые ОСР-2016, созданы по той же методологии (рис. 1), что и карты ОСР-97, но с учётом уточнённых и дополненных исходных данных о сейсмичности и сеймотектонике всей исследуемой территории страны, включая Республику Крым. При этом для расчётов сейсмического эффекта использовалась более густая и адекватная сферической земной поверхности треугольная сетка со стороной 15 км.

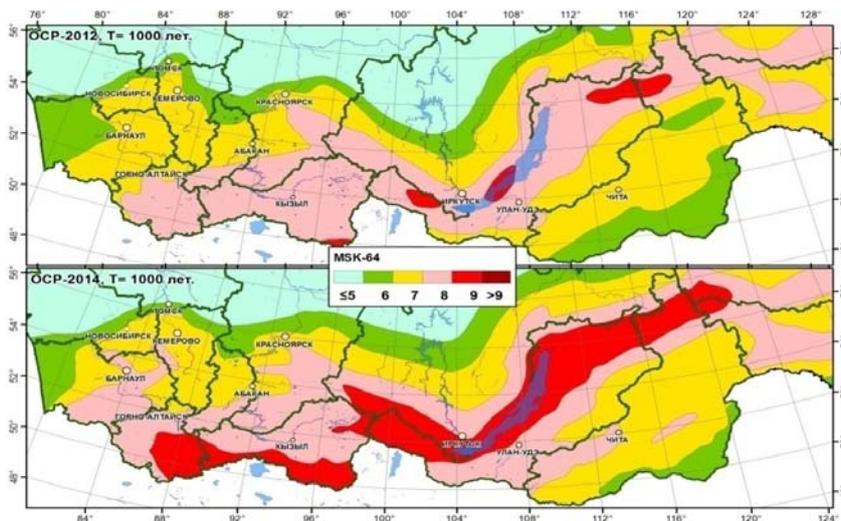


Рис. 6. Сопоставление фрагментов карт ОСР-2012 и ОСР-2014 юга Сибири для периода повторяемости сейсмического эффекта $T=1000$ лет.

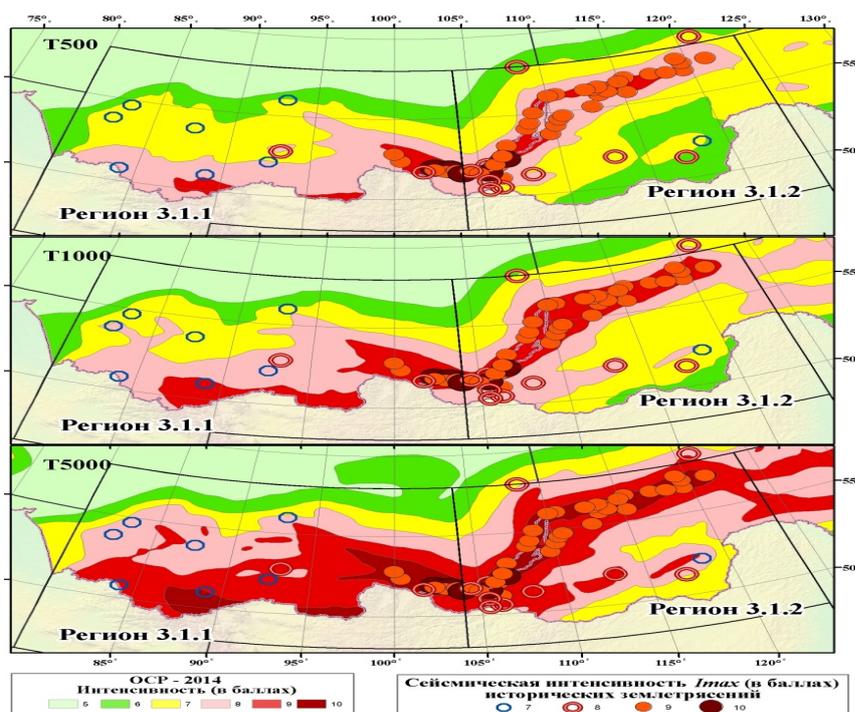


Рис.7. Сопоставление место-положения на картах ОСР-2014 эпицентров сильных землетрясений по данным, произошедших в регионах 3.1.1 и 3.1.2 юга Сибири в исторический (доинструментальный) период с древнейших времен по 1900 г., с указанием верхнего уровня их сейсмического эффекта в баллах шкалы MSK-64 для средних грунтовых условий (грунты 2-й категории по СНиП II-7-81*).

Комплект карт ОСР-2014 стал основой для итоговых нормативных карт ОСР-2016.

ЛИТЕРАТУРА

1. Уломов В.И. Динамика земной коры Средней Азии и прогноз землетрясений. Ташкент: ФАН Узб. ССР, 1974. 218 с.
2. Уломов В.И., Шумилина Л.С. Комплект карт общего сейсмического районирования территории Российской Федерации - ОСР-97. Масштаб 1:8000000. Объяснительная записка и список городов и населенных пунктов, расположенных в сейсмоопасных районах. М.: ОИФЗ. 1999. 57 с.
3. Уломов В.И. Об инженерно-сейсмологических изысканиях в строительстве // журнал "Инженерные изыскания" №9, 2009. С.28-39.
4. Уломов В.И. Актуализация нормативного сейсмического районирования в составе Единой информационной системы "Сейсмотехника России" // Вопросы инженерной сейсмологии. 2012. Т. 39, № 1. С. 5-38.
5. Уломов В.И., Перетокин С.А., Медведева Н.С., Акатова К.Н., Данилова Т.И. Сейсмологические аспекты общего сейсмического районирования территории Российской Федерации (карты ОСР-97, ОСР-2012, ОСР-2014) // Вопросы инженерной сейсмологии. 2014, №4. С. 5-24.
6. Уломов В.И., Богданов М.И. Новый комплект карт общего сейсмического районирования территории Российской Федерации (ОСР-2012) // журнал "Инженерные изыскания", 8, 2013. С. 30-39.
7. Уломов В.И. Результаты исследований Ташкентского 1966 г. и Газлийских землетрясений 1976 и 1984 гг. и их вклад в сейсмологию // Труды юбилейной Международной научной конференции, Ташкент, 2016. с.
8. Уломов В.И. О глобальных изменениях сейсмического режима Земли в период 1965–2005 гг. // Докл. РАН. 2007. Т. 414, № 3. С. 398–401.
9. Уломов В.И. О глобальных изменениях сейсмического режима и уровня водной поверхности Земли // Физика Земли, №9, 2007.