

УДК 550.838

Структурные особенности регионального магнитного поля Западной Сибири и Урала

*А.М. Виноградов, Н.В. Федорова, Н.Н. Винничук,
(343)2678885, факс(343)2678872, gopr@mail.ru, nataliavf50@mail.ru, vinnichuk@tkural.ru
Институт геофизики УрО РАН, Екатеринбург, Россия*

Структура магнитных аномалий земной коры дает возможность выделить распределение базит и базит-гипербазитовых серий магматизма. Региональные магнитные поля ΔT Западной Сибири и Урала отражены на картах масштаба 1:10 000000 – 1:2 500000, изданные в 1975-85 гг. Качественная интерпретация зафиксированных на этих картах магнитных аномалий требует определенного упрощения, и это, в первую очередь, относится к картам масштаба 1:2 500000. С этой целью была составлена и использована бинарная модель магнитного поля [1]. В докладе приводится описание и анализ этой модели. Прослежены главные особенности структуры региональных магнитных аномалий Западной Сибири и Урала и их связи с фанерозойскими структурами, фиксируемыми базитовым, базит-гипербазитовым магматизмом, определяющим, как нам представляется, ведущие минерагенические проявления региона (месторождения фемической специализации Урала, уникальное сосредоточение месторождений нефти и газа Западной Сибири и др.).

Основными источниками магнетизма для региональных аномалий являются ферромагнитные минералы (магнетит, титано-магнетиты, пирротин и некоторые другие второстепенные). Образование этих минералов происходит при определенных термодинамических условиях, фиксируемых остаточной намагниченностью. Наведенная намагниченность определяется магнитной восприимчивостью ферромагнетиков. По результатам петромагнитных исследований [2] природа региональных магнитных аномалий связана главным образом с продуктами базитового, базит-гипербазитового магматизма и сопутствующим обогащением пород земной коры магнитными минералами за счет глубинных флюидов богатых железом.

Определим некоторые методические особенности, используемые при описании и интерпретации вещественных и энергетических магнитных полей. Рассматриваемые геополья – пространства объекта исследований, каждой точке которых отвечают определенные значения какой-либо характеристики изучаемого качества [3]. Структура геопольей рецептивно воспринимается при прослеживании главных геометрических характеристик пространственного распределения качеств [4,5]. Связь между характеристиками рассматривается исходя из сравнения этих полей при их описании, через их общность – локальность, зональность, симметричность, направленность, асимметричность, упорядоченность. Следуя позиции И.Р. Пригожина о приоритетах качественного описания в познавательном процессе, раскрытом для геологии и геофизики в работах Губермана [6], полагаем, что в бинарной модели графически отражаются существенные элементы такого описания. Модель фиксирует главные особенности региональных магнитных полей – контуры локальных повышений и их упорядоченность. Заметим, что при составлении бинарной модели использована иерархичность преобладающих размеров выделяемых контуров аномалий [7], очерченных замкнутой изодинамой ΔT , отвечающей условной границе контура относительного повышения полей. При этом каждый последующий контур размера L_j сохраняет или поглощает предыдущий контур размера l_i при соотношении

$$L_j = 3,5l_i \pm 0,9l_i, \text{ где } j = i + 1.$$

Используя такой подход, составлена бинарная модель относительно повышенных региональных магнитных аномалий на основе анализа карты изодинам ΔT масштаба 1:2 500000 (рис.1). В качестве рецептивного восприятия эта модель более информативна, чем карта изодинам масштаба 1:10 000000, которая так же является моделью региональных полей, сформированной путем генерализации карты изодинам масштаба 1:2 500000.

Региональные магнитные поля особенно в бинарных отображениях контуров аномалий и в условных отображениях структуры выделяемой их направленности

упорядоченного распределения (рис. 1), включают самые разнообразные интегральные сочетания. Они доступны для разделения по результатам детальных комплексных геолого-геофизических съемок масштаба 1:200000 и крупнее. Накоплен большой опыт, используемый в теоретических и практических исследованиях. Эти знания позволяют выделять и давать объяснение главным элементам структуры бинарной модели полей, выстраивать варианты и формировать гипотезы строения и развития региона. С учетом изложенных положений в построенной бинарной модели выделяются следующие главные элементы структуры вещественных и энергетических магнитных полей.

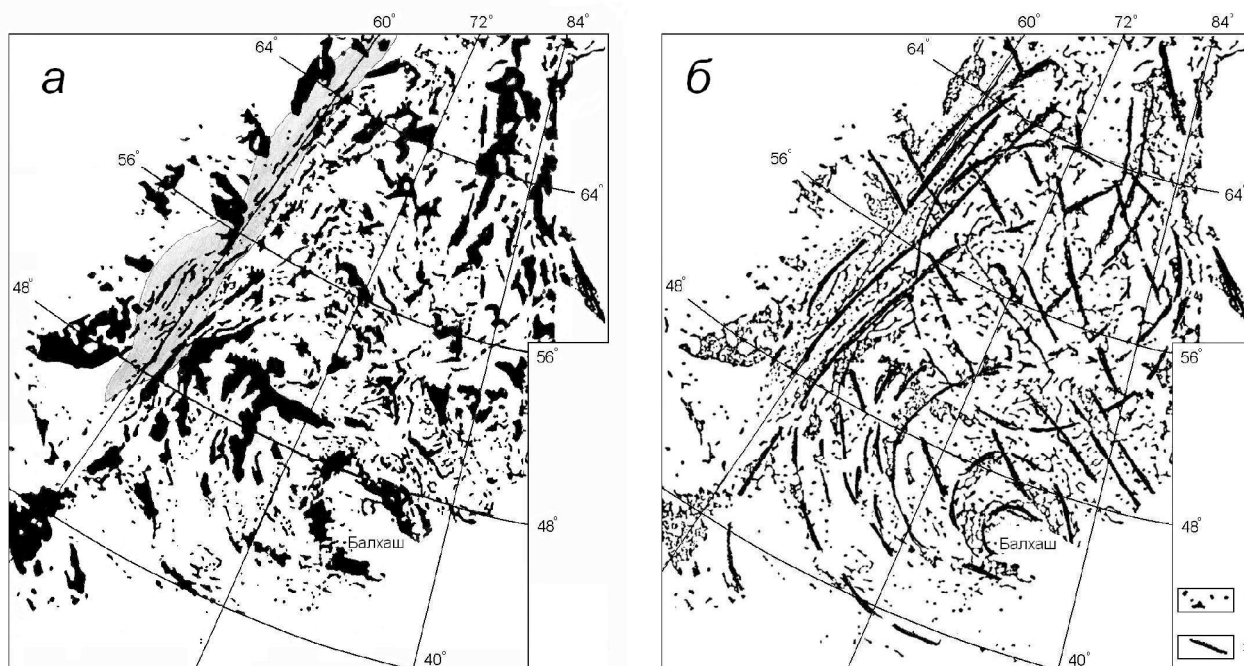


Рис. 1. Основные особенности структуры региональных магнитных полей Урала и Западной Сибири: а) - бинарная модель региональных магнитных полей, созданная на основе карты ΔT масштаба 1:2 500000; б) - схема главных структурных элементов бинарной модели. Обозначения: 1 – контуры магнитных аномалий; 2 – выделенные структуры.

На бинарной модели и соответственно в магнитных полях региона уверенно выделяются линейные системы субмеридионально направленных контуров. Особенно выразительны они в западной Уральской части региона, где согласуются с положением и направленностью Главного Уральского глубинного разлома. Они кулисообразно распространяются на восток и отклоняются к югу, как бы затухая в области Западно-Сибирского осадочного бассейна. В пределах Казахстана контуры аномалий переходят в отчетливо выраженные концентрические распределения с эпицентром в области озера Балхаш. К северу в пределах мезозойско-кайнозойского покрова осадков эта концентрическая структура смыкается и перекрывается мозаикой аномальных контуров, так же с достаточно отчетливо выраженным концентрическим распределением с эпицентром в районе г. Ханты-Мансийска. Данные рецептивные восприятия и построения можно уверенно локализовать процедурами направленной трансформации полей. В силу искусственного алгоритмического усиления выделяемых элементов этими процедурами [5], мы не приводим и не обсуждаем карты таких трансформантов.

Выделенные структурные особенности полей при детальном (масштабы 1:50000 – 1:200000) геолого-геофизическом рассмотрении в открытых от мощного мезозойско-кайнозойского осадочного покрова районах Урала и Казахстана можно уверенно соотнести с распределением продуктов базитового, базит-гипербазитового магматизма и сопровождающей их магнетитовой минерализацией (например, Соколовско-Сарбайская зона

железородных месторождений). Таким образом, выделенные структуры фиксируют первую серию магматизма [1], развитого в ранне-средне фанерозойское время в процессе квазисрединного и квазиостроводужного режимов развития региона. Предполагается связь магматитов с мантийным плюмом, с двумя фиксированными эпицентрами его становления. Они связаны с конвективной ячейкой - с восходящим флюидо-энергетическим потоком в Казахской части региона (в современных координатах - это южный концерн магнитных полей) и нисходящей - с поглощением литосферы и образованием прогиба, заполняемого осадками в Западной Сибири (северный концерн).

Следующая линейная система региональных магнитных аномалий преимущественно субмеридионального простирания наложена на ранее рассмотренную систему. Наиболее отчетливо она проявилась на севере территории. Она зачастую интегрально сливается с полями других систем, и выделить ее можно лишь при комплексном крупномасштабном анализе геолого-геофизических данных. Эти региональные поля связаны с третьей серией магматизма в центральном секторе севера Евразии [1], представленной триас-юрскими трапами базальтов, как правило, сопровождающих зоны грабенов (Челябинский, Даниловский, Обский и др.) вдоль глубинных разломов.

Последняя система локальных контуров магнитных аномалий объединяет скрытые, но достаточно выраженные, дискретно-линейные и мозаично-направленные зоны. Они имеют северо-западное простирание, распределяясь как бы по касательной к глобальной аномалии и, соответствующих ей, структурам региональных магнитных полей Сибирской плиты. Данная система локальных аномальных контуров наложена и осложняет ранее выделенные структуры магнитных полей. Особенно выразительно распределение локальных контуров этой направленности в области пересечения ими северного концерна магнитных аномалий, где сосредоточены основные запасы нефти и газа известных месторождений. Рассматриваемые распределения аномальных полей, возможно, вызваны четвертой мезозойско-кайнозойской серией магматизма, представленной проявлениями магм и флюидизатов различного состава. В целом же анализируемые распределения геополей вероятно связаны со сдвигами фундамента Западной Сибири, вызванные правым поворотом Сибирской плиты [8].

ЛИТЕРАТУРА

1. Виноградов А.М., Рапопорт М.С., Рыжий Б.П., Сериков Л.И. Положение Урала в структурах Евразии // ДАН. 1999. Т.365. №4. С. 512-515.
2. Палеомагнетизм и магнетизм горных пород. М.: ОИФЗ РАН, 1996. 297 с.
3. Соболевский П.К. Современная горная геометрия // Социалистическая реконструкция и наука, 1932. № 17. С. 3-18.
4. Виноградов А.М. К методике оценки информативности геологических тел // Изв. вузов. Геология и разведка. 1990. № 5. С. 90-98.
5. Виноградов А.М. О признаках упорядоченности геополей при изучении структуры геологических тел // Изв. вузов. Геология и разведка. 1990. № 10. С. 45-53.
6. Губерман Ш.А. Неформальный анализ данных в геологии и геофизике. М.: Недра, 1987. 261с.
7. Садовский М.А. О значении и смысле дискретности в геофизике // ДАН. 1986. Т. 271. С. 598-602.
8. Роль сдвиговой тектоники в структуре литосфер Земли и планет земной группы. СПб.: Наука, 1997. 591 с.

УДК 551.24:550.83(265.3)

Сеймотектоническая интерпретация плотностных неоднородностей земной коры (ЗК) Кунаширской впадины междуугового Срединно-Курильского прогиба Курило-Камчатской островодужной системы в связи с перспективами ее нефтегазоносности

*П.Ф. Волгин, В.Э. Кононов, А.В. Кочергин, Л.М. Лютая
тел. 8(4242)793-115, факс. 8(4242)791-117, E-mail: secret@imgg.ru
Институт морской геологии и геофизики Дальневосточного отделения
Российской академии наук, г. Южно-Сахалинск, Россия*

Кунаширская впадина, принадлежащая Срединно-Курильскому прогибу, находится в юго-западной части Курило-Камчатской островодужной системы, характеризующейся исключительно высокой сейсмичностью [1]. С запада она ограничена Кунаширским блоком Больше-Курильского поднятия, с востока Мало-Курильским блоковым поднятием Мало-Курильской островной дуги. Это своеобразная грабенобразная синформная структура, выполненная слоистыми вулканогенно-осадочными образованиями мощностью свыше 5 км. Своей южной частью впадина продолжается в пределы о. Хоккайдо (Япония), плавно переходя в равнину Консен. С конца 50 гг. XX века во впадине в рамках геолого-геофизических исследований по изучению геологического строения Южно-Курильского региона проводился обширный комплекс региональных геофизических работ, основные результаты которых изложены в монографии ИМГиГ [2]. В последнее десятилетие в связи с возросшим интересом к Кунаширской впадине как высоко нефте-газоперспективному объекту в ней был проведен комплекс детальных геофизических работ, включающий в себя сейсморазведку (МОГТ) повышенной кратности для прослеживания отражающих границ осадочного выполнения впадины, набортную гравиметрию и магнитометрию. По результатам исследований в ее осадочном чехле было выделено два мегакомплекса, отвечающих сравнительно крупным этапам геологического развития впадины, подстилаемых толщей акустического фундамента (Фа) поздне мелового возраста [3]. Для завершения данной весьма значимой стадии геолого-геофизических исследований Кунаширской впадины в ней с целью обнаружения залежей углеводородов (УВ) было рекомендовано проведение параметрического бурения. Было также сделано предположение о возможности нахождения залежей УВ и в ловушках, связанных с эрозионными выступами блоков акустического фундамента (Фа) на бортах Мало-Курильского блокового поднятия, над которыми в осадочном чехле существуют флюидоупоры [3]. Мы полагаем, что аналогичные залежи УВ могут находиться и на восточном склоне Кунаширского поднятия, где простирается Восточно-Кунаширская приразломная антиклинальная зона. Оба эти предположения вполне согласуются с концепцией Е.Г. Арешева [4] о том, что в пределах задугово-периконтинентальных осадочных бассейнов Дальнего Востока и Юго-Восточной Азии, в состав одного из которых входит Кунаширская впадина, их фундамент, представляющий собой гранито-гнейсовый слой консолидированной части земной коры, является важным источником пополнения ресурсной базы нефти и газа, что подтверждено открытием в нем в пределах указанного региона целого ряда залежей УВ. В связи с чем мы вправе предполагать достаточно высокую нефтегазоперспективность поздне мелового акустического фундамента Кунаширской впадины и ее складчато-блокового обрамления, где в его тектонически ослабленных относительно разуплотненных зонах должны иметь место резервуары (ловушки) УВ, связанные с коллекторами трещинного типа. Представляется, что выявление зон распространения таких ловушек УВ в Фа впадины успешнее сейсморазведки МОГТ может быть осуществлено на основе результатов интерпретации материалов гравиметрии, которые при глубинных исследованиях, являясь индикатором масс [5], локализуют в земной коре измененные по массе локальные объекты, каковыми являются относительно разуплотненные, связанные с глубинными тектоническими структурами, трещинные резервуары УВ. В связи с указанным

соображением нами было осуществлено гравитационное моделирование земной коры Кунаширской впадины по линиям двух, совмещенных с сейсмопрофилями МОГТ профилей, простирающихся от о. Кунашир до Мало-Курильского блокового поднятия (рис. 1) по разработанной [6, 7] и хорошо апробированной в ИМГиГ ДВО РАН методике, результаты которого в виде рассчитанных плотностных разрезов земной коры по ним оказались достаточно близки, что в связи с регламентированным незначительным возможным объемом материала доклада позволило авторам ограничиться иллюстрацией лишь одного из них, изображенного на рис. 2, показывающего, что вдоль линии профиля I в гранитно-гнейсовом слое земной коры Фа имеет место тенденция его последовательного поблочного уплотнения с запада на восток от Кунаширского поднятия (о.Кунашир) до мульды Кунаширской синклинали зоны, от 2.70 до 2.82 г/см³, которое продолжается вплоть до западного склона Мало-Курильского блокового поднятия, где в двух его блоках (интервал линии разреза профиля 60-70 км) плотность слоя достигает 2.88 и 2.89 г/см³, формируя своеобразную существенно уплотненную шовную зону на восточном борту Кунаширской впадины. Восточнее указанной шовной зоны происходит скачкообразное разуплотнение слоя до 2.80 г/см³, на фоне которого в слое (интервал 77-82 км) выделяется локально разуплотненный блок (до 2.78 г/см³), скорее всего связанный с интенсивно трещиноватой тектонической зоной, где вполне возможны трещинные резервуары, содержащие залежи УВ, которые могут находиться и у поверхности указанного блока, размещаясь в коре выветривания фундамента, что позволяет считать целесообразным опосредованное его скважиной глубиной 5-6 км. Подобный объект нефтегазопоскокового бурения находится и на склоне Кунаширского поднятия, где в интервале линии профиля 22-32 км в Фа локализуется блок плотностью всего 2.72-2.74 г/см³, что также позволяет предполагать наличие в нем коллектора трещинного типа, связанного с ослабленной тектонической зоной, способной содержать залежи УВ, которую предлагается опосредованно скважиной, также глубиной 5-6 км.

Межпрофильная корреляция однообразных плотностных неоднородностей Фа позволила выделить в нем (рис. 1) относительно разуплотненные Восточно-Кунаширскую (I) и Центрально-Мало-Курильскую (III) зоны, последняя из которых осложнена локально разуплотненной узколинейной зоной (II^a), вероятно связанной с разрывной тектонической структурой. Факт существования указанных относительно разуплотненных зон, предположительно трассирующих области развития в Фа трещинных коллекторов позволяет рассматривать их в качестве объектов дальнейших нефтегазопоскоковых исследований, в связи с чем на южном побережье о.Шикотан, куда предположительно продолжается одна из них (Центрально-Мало-Курильская), целесообразно проведение электроразведочных работ методом МТЗ в целях подтверждения существования здесь в Фа трещинных коллекторов и последующего обоснования параметрического бурения.

Наряду с указанными относительно разуплотненными зонами на западном склоне Мало-Курильского блокового поднятия выявлена Западно-Мало-Курильская существенно уплотненная зона Фа, вероятно обусловленная насыщением его магматическими образованиями основного состава, что, конечно, является неблагоприятным фактором для сохранности в Фа залежей УВ.

Полученные данные об особенностях плотностной структуры Фа Кунаширской впадины, конечно, имеют определенную значимость для оценки перспектив ее нефтегазосности и выбора направлений дальнейших нефтегазопоскоковых исследований, однако, представляется, что и полученная информация о плотностной структуре более глубоких слоев ее земной коры не менее важна, так как может быть использована при палеотектонических реконструкциях, обоснования той или иной геотектонической концепции развития земной коры южной части Курило-Камчатской островодужной системы, на что существует целый ряд взглядов [1, 7, 8 и др.] и причин ее сейсмичности. С этой точки зрения обращает на себя внимание явная упорядоченность расположения от слоя к слою консолидированной земной коры, их локальных плотностных неоднородностей

латерального изменения плотности одного знака направленности, являющихся фрагментами целостных Восточно-Кунаширской, Центрально-Мало-Курильской (относительно разуплотненных) и Западно-Мало-Курильской (существенно уплотненной) глубинных плотностных структур, вершины которых трассируются в Фа соответствующими зонами, а их вертикальные контуры, очевидно, отвечают глубинным разрывам ограничивающих эти, на наш взгляд, сейсмогенные структуры, как известно [9], широко развитые во всей Курило-Камчатской сейсмофокальной зоне, охватывающей земную кору и Кунаширскую впадины.

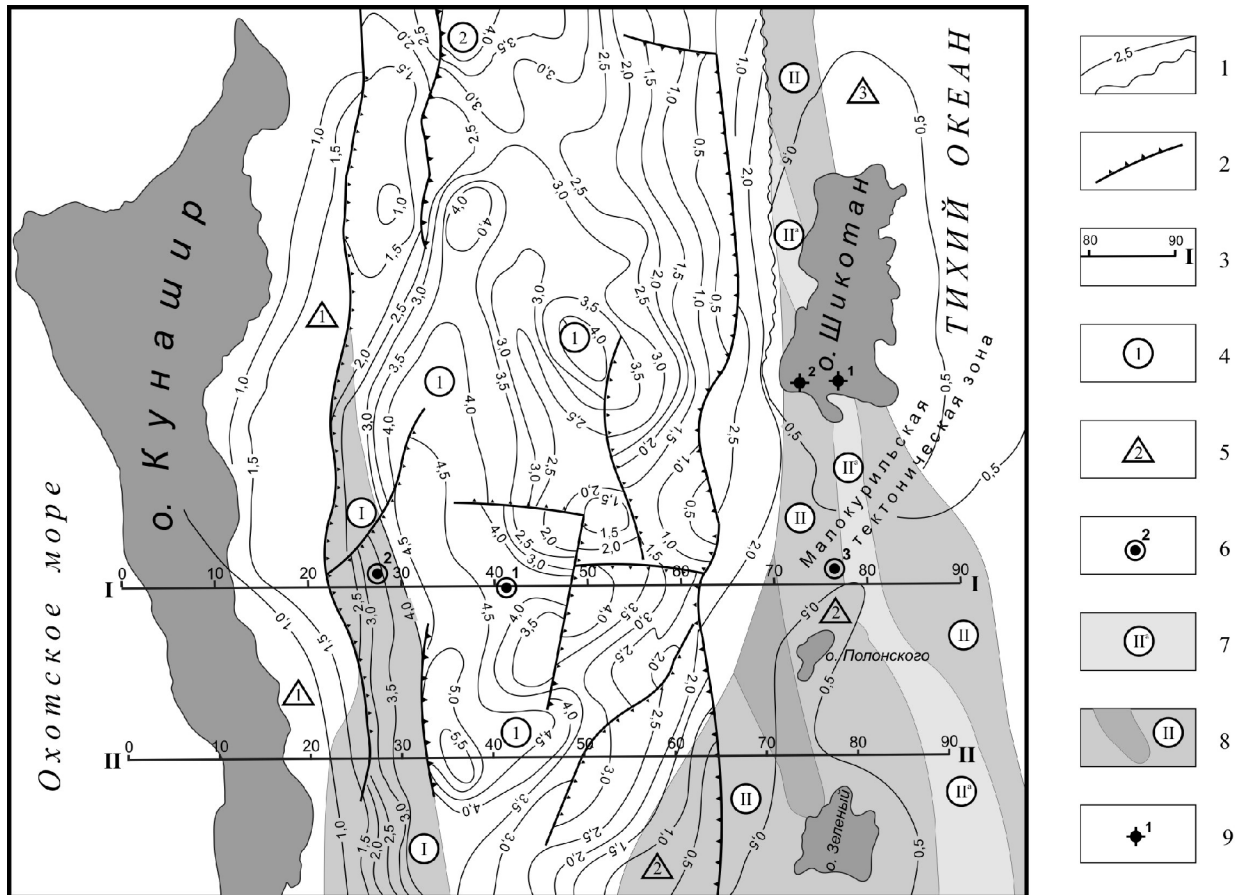


Рис. 1 Структурно-тектоническая схема Кунаширской впадины (Кровушкина О.А. и др. 2005), с добавлениями и элементами результатов интерпретации авторов:

1 – изогипсы поверхности акустического фундамента Фа и линия ее выхода на дно моря, в км; 2 – разрывные нарушения по данным сейсморазведки МОГТ; 3 – линии профилей гравитационного моделирования; 4 – синклинали: 1 – Кунаширская, 2 – Итурупская; 5 – антиклинальные зоны: 1 – Восточно-Кунаширская, 2 – Полонская; 6 – рекомендованное местоположение скважин: № 1 – (по сейсмическим данным), №№ 2, 3 – (по результатам гравитационного моделирования); 7 – относительно разуплотненные зоны Фа: I – Восточно-Кунаширская (плотностью 2,72-2,76 г/см³), II – Центрально-Мало-Курильская (плотностью 2,80-2,83 г/см³), II^а – локально-разуплотненная приразломная зона Фа плотностью 2,78-2,80 г/см³; 8 – Западно-Мало-Курильская существенно уплотненная зона Фа (плотностью $\geq 2,87$ г/см³); 9 – пункты рекомендованных МТЗ.

Таким образом, полученные данные осуществленного гравитационного моделирования приводят к представлению, что район Кунаширской впадины является местом сложнейших тектонических взаимоотношений разноплотностных, очевидно и разновязких, разнонапряженных, отличающихся по составу, динамическим характеристикам, кинематическим свойствам масс, слагающих земную кору и верхнюю мантию. Очевидно, именно сейсмофокальная часть зоны земной коры Кунаширской впадины, индикаторами которой являются выделенные нами в ней плотностные структуры и локальные неоднородности определила процесс формирования и развития данной южной части Курило-

Камчатской островодужной системы и Кунаширской впадины в частности. Учитывая факт скопления вдоль Курило-Камчатской сейсмофокальной зоны гипоцентров землетрясений V-образной формы в интервале глубин от поверхности до 100-200 км, отражающих разломы [2] относительно разуплотненные структуры земной коры Кунаширской впадины можно рассматривать как отражение мощных глубинных тектонически ослабленных разломных зон в верхней части ее консолидированной земной коры. Одной из таких структур очевидно можно рассматривать Центрально-Мало-Курильскую относительно разуплотненную структуру, с которой, очевидно, связано формирование данной части Мало-Курильской гряды хребта Витязя в результате последовательного внедрения в слои земной коры дифференцированного по плотности относительно кислого разуплотненного вещества верхней мантии, механизм которого подробно рассмотрен П.М.Сычевым [10]. Особый интерес представляет и существенно уплотненная Западно-Мало-Курильская плотностная структура, которая, очевидно, также является продуктом глубинной тектоно-магматической деятельности, сопровождающейся основным магматизмом.

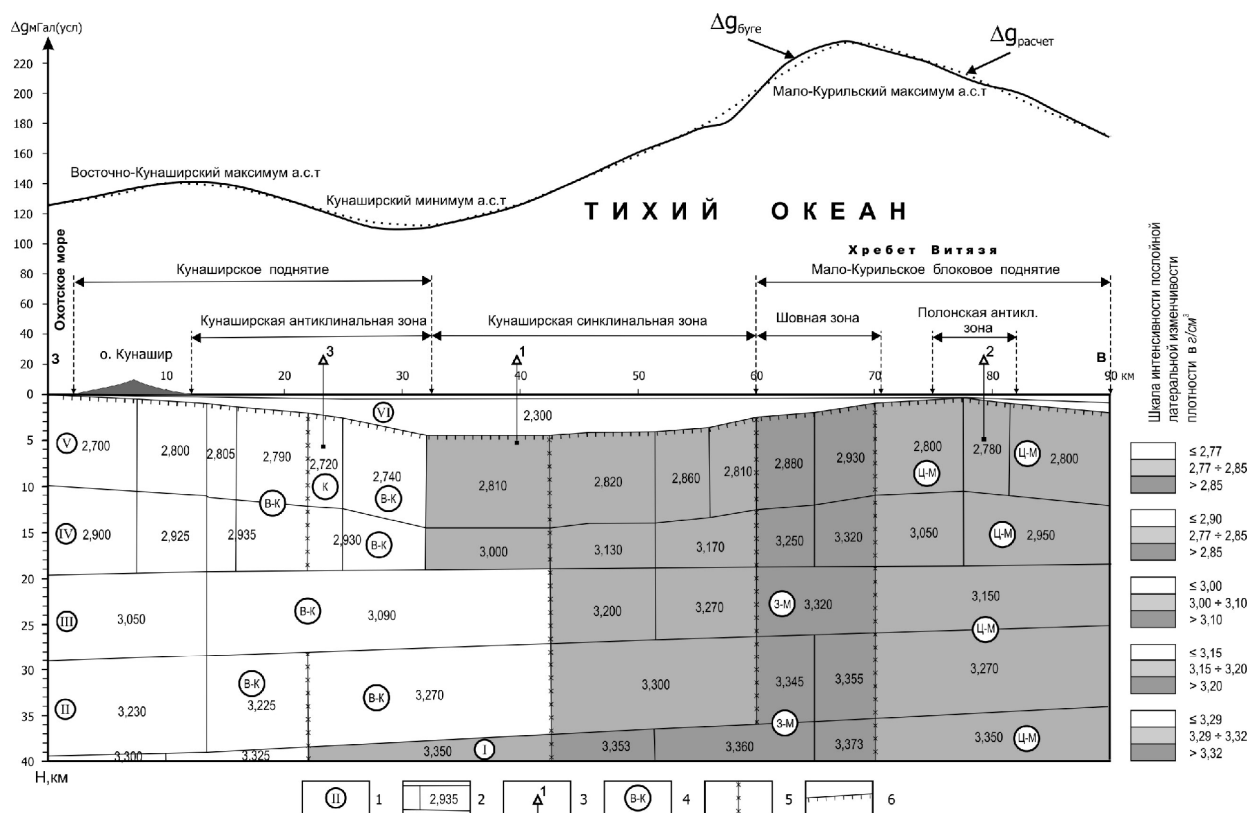


Рис. 2 Плотностной разрез консолидированной части земной коры и подкоровой толщи верхней мантии по профилю I Охотское море – Кунаширское поднятие – Малокурильское блоковое поднятие (Тихий океан): 1 – субгоризонтальные границы разделов слоев (I-VI), выбранных по данным Т.К.Злобина и др. (2007); I – приповерхностный слой верхней мантии, II – подкоровый, III – гранулит-эклогитовый, IV – гранулит-базитовый, V – гранито-гнейсовый, VI – вулканогенно-осадочный; 2 – вертикальные границы блоков слоев разреза и рассчитанная плотность блоков, в г/см³; 3 – рекомендованные местоположения скважин №№ 1-3; 4 – локальные плотностные неоднородности слоев: В-К – Восточно-Кунаширская (относительно разуплотненная), 3-М – Западно-Мало-Курильская (существенно уплотненная), Ц-М – Центрально-Мало-Курильская (относительно разуплотненная); 5 – линии предполагаемых глубинных разломов; 6 – поверхность Фа.

Все изложенное выше позволяет рассматривать выделенные неоднородно-плотностные зоны Фа в качестве локальных нефтегазовых районов Мало-Курильской гряды, в

пределах которой, безусловно, существуют и другие, представляющие и определенный нефтегазопроисследовательский интерес.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сергеев К.Ф. Тектоника Курильской островной системы. М.: Наука. 1976. 239 с.
2. Тектоническое районирование и углеводородный потенциал Охотского моря. ИМГиГ ДВО РАН. М.: Наука. 2006. 130 С.
3. Кровушкина О.А., Жукова О.С., Чуйко А.С. Новые данные о геологическом строении и перспективах нефтегазоносности Срединно-Курильского прогиба//Геология нефти и газа. № 1. 2005. С. 10-18.
4. Арешев Е.Г. Нефтегазоносность окраинных морей Дальнего Востока и Юго-Восточной Азии. М.: Зарубежнефть. 2003. 255 с.
5. Косыгин Ю.А., Малышев Ю.Ф., Романовский Н.П. О геологическом значении сейсмических и гравиметрических данных при глубинных построениях// Известия АН СССР. 1981. № 4. С. 22-27.
6. Косыгин В.Ю., Исаев В.И. О построении региональных плотностных моделей//Тихоокеанская геология. 1985. № 2. С. 113-116.
7. Сеначин В.Н. Методика регионального гравитационного моделирования. Препринт. Южно-Сахалинск. ИМГиГ ДВО РАН. 1992. 62 с.
8. Мельников О.А. О механизме образования островных дуг Северо-Запада Тихого океана//Тихоокеанская геология. 1989. № 3. С. 9-13.
9. Сычев П.М. Глубинные и поверхностные тектонические процессы Северо-Запада Тихоокеанского подвижного пояса. М.: Наука. 1979. 208 с.
10. Злобин Т.К., Сафронов Д.А., Злобина Л.М. Очаги землетрясений и глубинное строение земной коры верхней мантии по профилю Южный Сахалин – Охотское море – Камчатка//Тихоокеанская геология. 2007. Т. 26, № 3. С. 46-55.
11. Тараканов Р.З. О возможной роли сейсмофокальных зон в формировании структур островной дуги/Строение сейсмофокальных зон (отв. редактор академик Ю.М.Пушаровский). АН СССР. М.: Наука. 1987. С. 11-28.

УДК 551.2

Глубинное и разломноблоковое строение земной коры в геомеханической модели напряженно-деформированного состояния Каспийского региона.

И.А. Гарагаш, А.В. Дубовская
тел. (495)2542325, факс (495)2556040, garagash@mail.ru
Институт Физики Земли РАН, г.Москва, Россия

Напряженно-деформированное состояние земной коры складывается под действием многих факторов. Среди основных можно назвать горизонтальные и вертикальные тектонические движения, некомпенсированный вес горного рельефа, вариации плотности, неравномерный нагрев. Перечисленные виды нагрузок взаимодействуют со сложной геофизической средой, главным признаком которой является разломно-блоковое строение, вертикальная реологическая расслоенность, наличие флюидов и горного рельефа.

Особо следует выделить разломно-блоковое строение земной коры как генетически связанное с тектоникой плит и сейсмическим процессом. Зоны разломов возмущают напряженно-деформированное состояние земной коры и накапливают значительное количество потенциальной энергии деформации. Расчет напряжений и деформаций в системе тектонических разломов на примере таких регионов как Северный Тянь-Шань и Южная Калифорния, выполненный в рамках упругой модели [1], подтвердил предположение, что сильные землетрясения тяготеют к местам с аномально высоким уровнем энергонасыщенности земной коры. Создание геомеханических моделей

сейсмоактивных территорий позволяет предложить новые подходы к прогнозу землетрясений [2].

В настоящей работе выполнено трехмерное моделирование напряженно-деформируемого состояния земной коры Каспийского региона на основе данных о глубинном строении коры и геодинамических процессах с учетом существующих разломов, неоднородного строения фундамента и осадочной толщи.

Разработанная геомеханическая модель включает следующие слои земной коры:

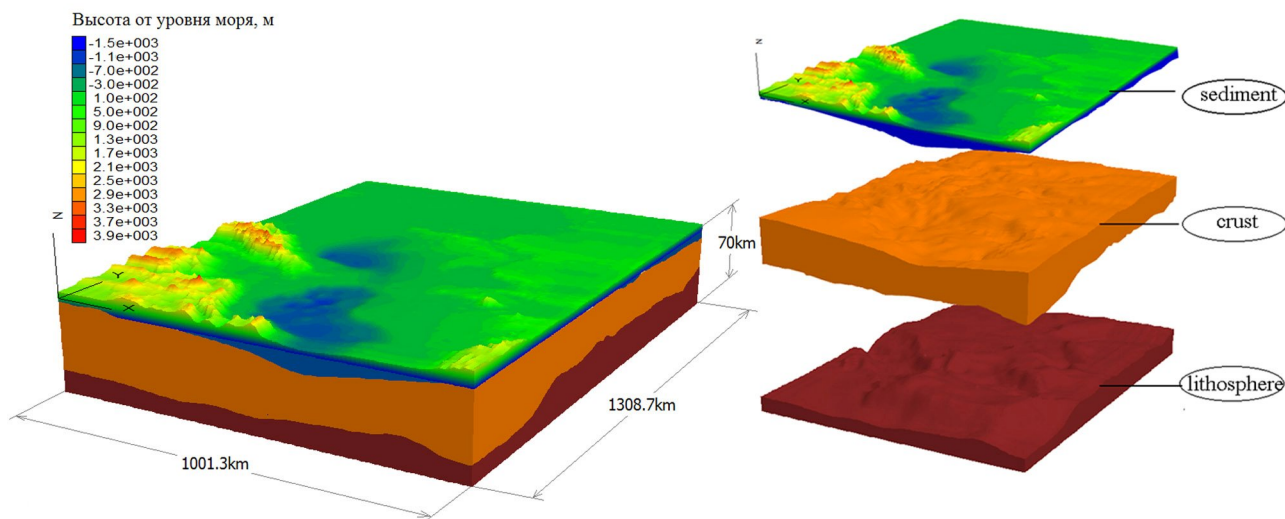


Рис 1. Геомеханическая модель земной коры Каспийского региона.

Верхний слой содержит рельеф местности и батиметрию и ограничивается снизу границей консолидированной коры [3].

Второй слой моделирует континентальную кору, снизу его ограничивает граница Мохо [3].

Третий слой подразумевает участок литосферы от раздела Мохоровичича до плоскости глубиной -70 км. Нижняя плоская граница условно является границей литосферы и астеносферы.

В силу того, что материал астеносферы частично расплавлен и на больших временах ведет себя как вязкое тело, верхняя литосферная плита скользит по астеносферному слою. На вертикальных границах области задаются условия свободного вертикального скольжения, смещения по нормали к границам запрещены.

Упругопластические деформации для всех слоев задаются предельным условием Кулона-Мора (как наиболее характерным для горных пород).

При решении задачи о напряженно-деформированном состоянии земной коры также учитывалось ее разломноблоковое строение, так как разломы являются наиболее активными структурными образованиями.

При введении разломов в геомеханическую модель, необходим переход от реальной кусочно-неоднородной трещиноватой среды к модели сплошной среды с распределенной непрерывной неоднородностью. То есть, исходная неоднородная среда должна быть приведена к некоторой эквивалентной, деформация которой будет равна собственно упругой деформации сплошного материала и дополнительной, вызванной наличием дефектов.

При этом будем понимать, что зона влияния разломов не ограничивается пространством разрывного нарушения, а распространяется и дальше по всем трем измерениям в некоторой его окрестности, и может включать в себя разломы меньшего ранга.

В настоящее время в вопросах разломной тектоники значительное место отводится тектоническим построениям, моделированию разломных зон, изучению их количественных характеристик.

Наиболее наглядно особенности разрушения земной коры региона проступают при анализе плотности разрывных нарушений [4].

Для построения плотности разрывных нарушений используется усреднение дизъюнктивов методом скользящего окна с учетом их длины, ранга и влияния окружающих разрушений.

В результате получаем плоскостную картину плотности неоднородности $g(x)$, на которой отмечаются границы зоны динамического влияния разломов и также области наиболее и наименее деструктивной коры (Рис.2б).

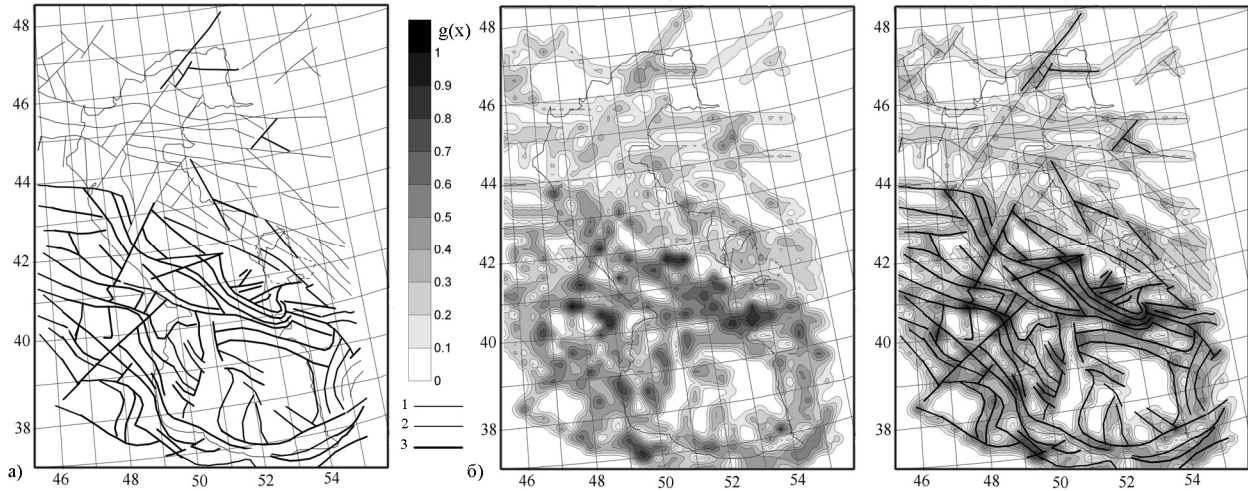


Рис.2. а) Разломы в Каспийском регионе 1- сейсмически не активные, 2-с предполагаемой сейсмической активностью, 3- сейсмически активные;
б) полученная плотность разрывных нарушений.

Так как в пределах зоны разломов горные породы раздроблены и характеризуются повышенной трещиноватостью, то их жесткость и прочность в зоне разлома заметно ниже, чем у блоков земной коры, границей которых она служит. Об этом свидетельствуют как данные о скоростях распространения сейсмических волн на разломе и вне него [5], так и повышенная сейсмическая активность [6].

Соответственно, все механические параметры в зонах разломов задаются в виде:

$$\Pi(x_s) = \Pi_0[1 - k \cdot g(x_s)]$$

где Π_0 – однородное начальное значение параметра для ненарушенной среды, $k \leq 1$ – параметр малости, функция неоднородности $g(x_s)$ нормирована и равна единице на оси разлома и нулю вне зоны его влияния.

Расчеты, проведенные на модели с помощью программы FLAC 3D (конечно-разностной программы для численного изучения механического поведения непрерывной трехмерной среды, которая достигает равновесия) позволяют получить распределение по всей земной коре таких важных параметров, как средние напряжения и энергонасыщенность, а также близость напряженного состояния к пределу прочности.

На рисунке 3а показаны полученные распределения средних напряжений в земной коре (первый инвариант тензора напряжений), а также максимальных касательных напряжений (второй инвариант тензора напряжений) и ориентация главных осей напряжений (Рис.3б).

Распределение плотности накопленной упругой энергии в коре в совокупности с параметром близости состояния к пределу прочности (Рис. 4) представляются важными для оценки сейсмической активности в регионе.

Хочется отметить, что полученное распределение вероятности землетрясений, основанные на совмещении нормированных распределений накопленной упругой энергии сдвига в коре и близости напряженного состояния к пределу прочности (Рис. 4в), хорошо

согласуются с картиной землетрясений в регионе, зарегистрированных с доисторических времен до 1990г (магнитуды более 4.5).

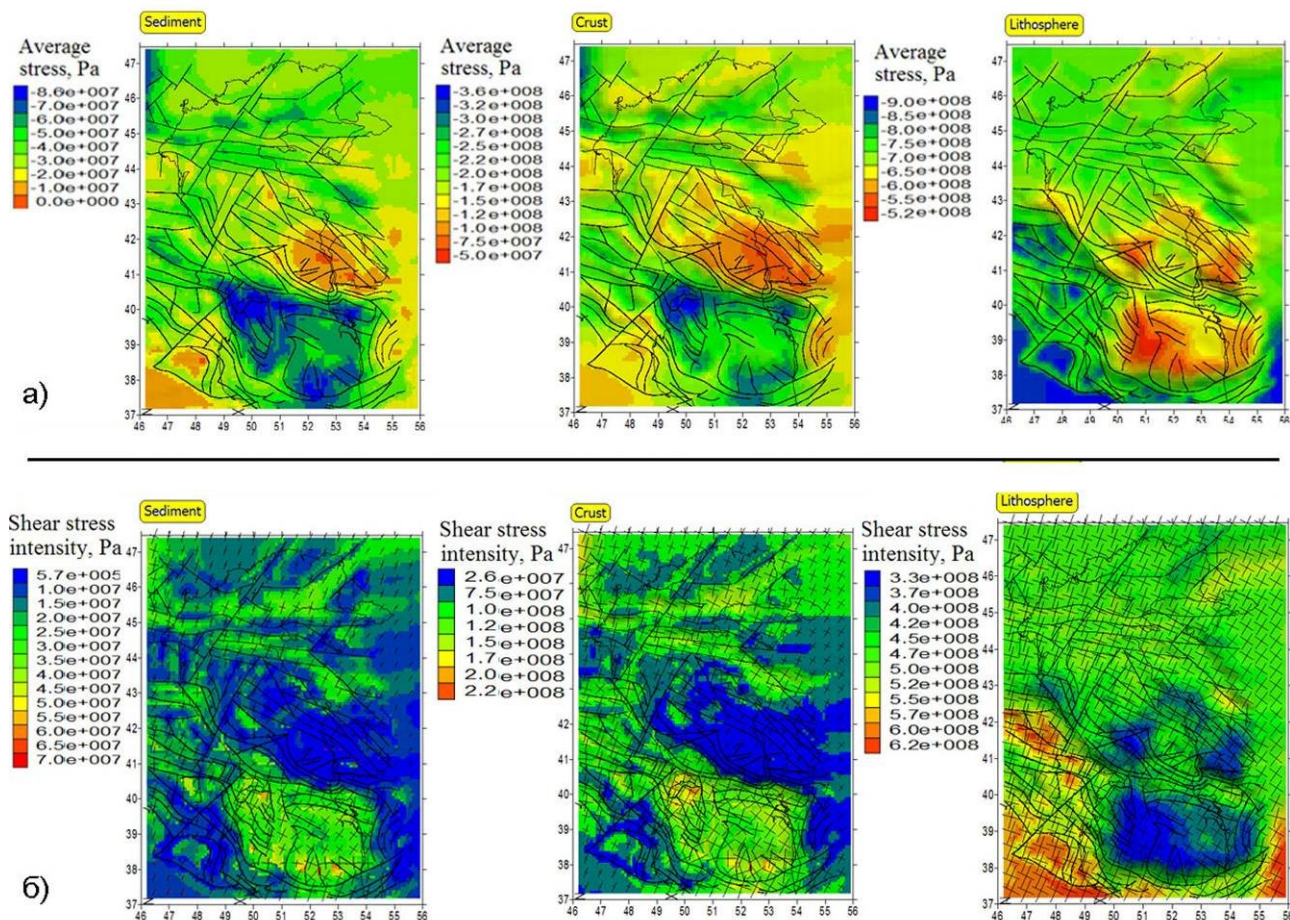


Рис.3. а) Распределение средних напряжений в слоях: осадки, кора, литосфера
 б) Распределение максимальных сдвиговых напряжений и ориентации главных осей.

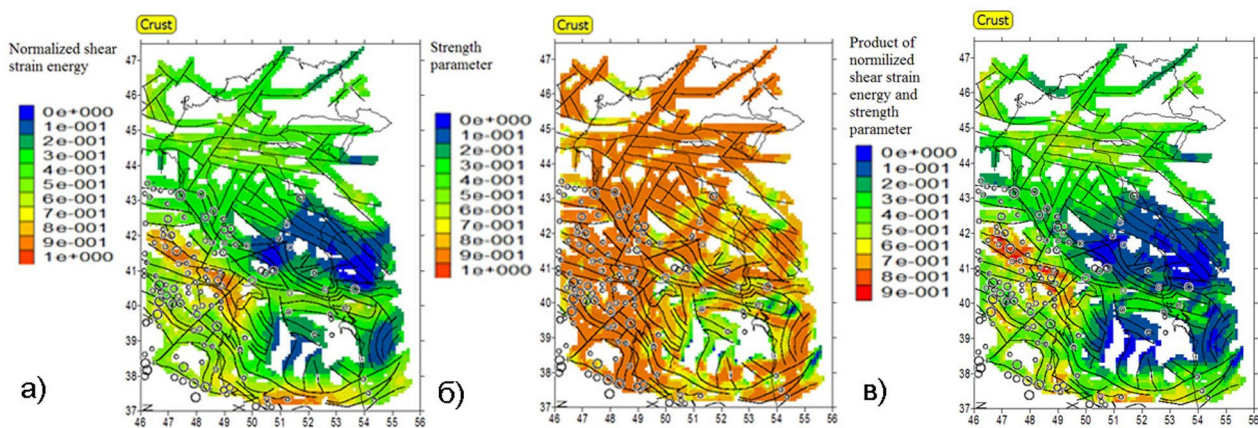


Рис.4. Нормированные распределения а) накопленной упругой энергии сдвига в коре;
 б) близости напряженного состояния к пределу прочности
 в) распределение вероятности землетрясения.

А также хочется добавить, что анализ построенных параметров напряженно-деформированного состояния и их сравнение с аналогичными распределениями при отсутствии в модели разломов приводит к выводу, что разломная тектоника вносит существенный вклад в распределение напряжений в регионе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гарагаш И.А. Поиск мест возникновения сильных землетрясений. ДАН СССР, 1991, т.318, N4, с.862-867
2. Бондур В.Г., Гарагаш И.А., Гохберг М.Б., Лапшин В.М., Нечаев Ю.В., Стеблов Г.М. Шалимов С.Л. Геомеханические модели и ионосферные вариации для крупнейших землетрясений при слабом воздействии градиентов атмосферного давления. Доклады Академии Наук, 2007, том 414, №4, с.1-4
3. Глумов И.Ф., Маловицкий Я.П., Новиков А.А., Сенин Б.В. Региональная геология и нефтегазоносность Каспийского моря. - М.: ООО "Недра - Бизнесцентр", 2004.
4. Лобацкая Р.М. Структурная зональность разломов, М., Недра 1987.
5. Методы детального изучения сейсмичности. Труды Ин-та физики Земли АН СССР, 1960, 9 (176), 327с.
6. Нерсесов И.Л., Пономарев В.С., Кучай В.К. Особенности пространственного распределения сейсмического фона. Поиски предвестников землетрясений на прогностических полигонах. М., Наука, 1974, р.119-131.

УДК 550.83

Региональные гравиметрические работы на северо-западе Пермского края по профилю Чернореченский-Тимшер

*И.В. Геник, М.С. Чадаев, т.(342)244-55-81, Ф. (342)216-75-02, ivg@mi-perm.ru
Горный институт УрО РАН, Пермь, Россия*

С нефтепоисковыми целями Пермский край изучен весьма неравномерно, наименее исследованы северные и восточные территории [1, 3]. В связи с этим, начиная с 2000 г., в указанных регионах проводятся региональные геофизические (гравиразведочные и сейсморазведочные) работы с целью изучения геологического строения, оценки перспектив нефтегазоносности и выделения участков для постановки дальнейших нефтегазопроисковых работ [2]. Применение современных аппаратных и интерпретационных геофизических технологий позволяет получить детальную геолого-геофизическую информацию для территорий, слабо изученных ранее. Региональный профиль Чернореченский-Тимшер (рис.) проходит с запада на восток по территории Камского свода и зоны его сочленения с Казанско-Кажимским авлакогеном (северо-запад Пермского края).

В пределах территории исследования проводились различные геолого-геофизические работы. В результате аэрокосмогеологических исследований выявлены региональные, зональные и локальные линеаменты, ландшафтные аномалии, отображающие вероятные локальные поднятия осадочного чехла различного генезиса. Для всей площади исследования имеются данные современной аэромагнитной съемки масштаба 1:50000 (2000 г.). Гравиразведочные работы прошлых лет представляют собой профильные съемки 1960-х гг. и 2000-х гг. Сейсморазведочные работы выполнены в профильном варианте, как так 1960-х гг., так и последнее десятилетие. Основной интерес связан с сейсмическими профилями Касибский борт-Грива и Гайны-Тимшер, проходящими южнее практически субпараллельно профилю Чернореченский-Тимшер, поскольку основная часть структур рассматриваемого региона имеет северо-северо-восточную ориентировку и пересекаются вкрест перечисленными профилями. Для юго-востока площади также имеются данные электроразведки ВЗЗ.

По профилю Чернореченский-Тимшер проведены одновременно гравиразведочные и сейсморазведочные работы. Полевая гравиметрическая съемка масштаба 1:50 000 выполнена по региональному профилю в объеме 192 км с шагом 200 м. Измерения проводились с использованием современной гравиметрической (гравиметры Autograv CG-3М и CG-5) и топографо-геодезической аппаратуры, что обеспечило среднеквадратическую погрешность определения аномалий силы тяжести в редукции Буге с точностью ± 0.033 мГал.

Глубоким бурением изучаемая территория изучена весьма неравномерно. Скв.1 Гайнская вскрыла визейские отложения, скв.2 Гайнская - отложения турнейского возраста. Породы кристаллического фундамента вскрыты скважинами: 17 (пл.Оныл), 18 (пл.Усть-Черная) на глубинах 1798 м и 2077 м соответственно. Скважина 19 Тимшерская вскрыла отложения венда. Погружение фундамента наблюдается как в западном направлении, в сторону Казанско-Кажимского авлакогена (ККА) до глубин порядка 3.1 км, так и в восточном направлении до глубин около 2.7. км. Осадочный чехол залегает на эродированной поверхности кристаллического фундамента. Рифейские отложения на площади работ скважинами не вскрыты. Согласно сейсмическим данным породы среднерифейского возраста развиты на западе профиля в Казанско-Кажимском прогибе. Отложения венда распространены на всей изучаемой площади, но его мощность значительно сокращается в западной части профиля – в ККА, где породы венда подвергались размыву и толщина их составляет порядка 250 м. Породы палеозоя залегают со стратиграфическим несогласием на породах вендского комплекса. На дневную поверхность исследуемой территории на западе выходят отложения юрской и триасовой систем, на востоке – пермской. Высоты рельефа земной поверхности составляют от 100 до 250 м.

Магнитное поле (рисунок) исследуемой территории изменяется от -237 до 529 нТл, имеет высокую степень корреляции с гравитационным полем, а также неплохое совпадение с морфологией рельефа земной поверхности. Наиболее низкие значения поля отмечаются в западной части площади на территории Казанско-Кажимского авлакогена. Территория Камского свода характеризуется довольно мозаичной картиной аномалий ΔT , но значения в целом более высокие, чем для ККА. Наиболее сильные гравиактивные границы связаны с кровлей сакмарских карбонатных отложений - ОГ S(P_{1s}) и фундамента - ОГ Ф (AR-PR₁). Другими существенными гравиактивными границами в ряде случаев могут являться кровля и подошва венда (V_K и V_{BP}), кровля бурежских (D_3br) и бородулинских отложений (V_2br).

Комплексная интерпретация геопотенциальных полей выполнялась с использованием подходов, предусматривающих следующие этапы интерпретации [3].

Первый этап - интерпретация в профильном варианте с целью: а) выделения зон возможного развития интрузий и других неоднородностей строения фундамента и установления их возможной связи с рельефом кристаллического фундамента и крупными структурами осадочного чехла; б) определения степени проявления в наблюдаемом гравитационном поле структур и приподнятых участков, выделяемых сейсморазведкой; в) решения двумерной обратной линейной задачи гравиразведки (подбор плотностей при жестко закрепленных границах), с определением плотностных характеристик основных толщ, выделенных по данным сейсморазведки, а в ряде случаев на основе комплексной переинтерпретации данных - коррекция сейсмических границ, если подбором плотности не удастся добиться удовлетворительного совпадения кривых Δg или получить геологически обоснованный плотностной разрез и построение тем самым единой сейсмогравиметрической модели; г) уточнения положения разрывных нарушений, выделяемых в осадочном чехле и фундаменте.

Второй этап связан с площадной интерпретацией геопотенциальных полей. На основании профильных гравиметрических работ выполняется увязка аномалий силы тяжести, полученных при съемках прошлых лет различного масштаба, составляется сводная гравиметрическая карта на всю площадь исследований. При наличии профильной модели исследуемой территории задачами площадной интерпретации гравитационного и магнитного полей являются: а) общий и детальный анализ регионального поля; б) прослеживание

выделенных ранее зон и объектов вне системы профилей; в) локализация в плане и по глубине новых аномальных зон и объектов, не нашедших своего отражения в профильной модели; г) построение карт, отображающих строение целевых объектов в различных интервалах глубин; д) тектоническое районирование территории.

Гравитационное поле на профиле изменяется в диапазоне 9.3 - 32.4 мГал. Несколько более пониженными значениями (от 9.3 мГал до 25 мГал) характеризуется западная часть профиля с максимумом в западной четверти профиля. Для восточной части характерны повышенные значения (от 18 мГал до 32.4 мГал) поля, выделяются три максимума гравитационного поля. Магнитное поле на профиле изменяется в диапазоне от -162 нТл до 369 нТл. В магнитном поле также упорядоченно чередуются зоны повышенных и пониженных значений. При этом в восточной трети профиля (в Гайнско-Кудымкарской зоне карельских дислокаций) магнитное поле меняется в противофазе с гравитационным, а в западных двух третях – наоборот – магнитное и гравитационное поля изменяются практически синфазно. Для кривых гравитационного поля, наблюдаемой и рассчитанной для исходной модели (плотности постоянны в каждой толще, глубины залегания границ не изменяются), характерно большое взаимное расхождение. Варьирование параметров исходной модели дало следующие результаты. В фундаменте плотности изменяются в диапазоне 2.65 - 3.06 г/см³. Максимумы гравитационного поля связаны с наиболее плотными участками фундамента. В рифейской терригенной толще (западная треть профиля) – плотности изменяются в диапазоне 2.50 - 2.78 г/см³. Блок максимальной плотности расположен в восточной части толщи, ограничиваясь с запада разрывным нарушением. В вендской и тиманско-пашийской толщах плотности находятся в диапазоне 2.57 - 2.72 г/см³. Палеозойская толща характеризуется изменениями плотности от 2.30 г/см³ до 2.74 г/см³. Полученные плотностные характеристики хорошо согласуются с результатами определения интегральных характеристик гравитационного и магнитного полей – установлено, что основные аномалиеобразующие источники связаны с фундаментом.

С целью площадной интерпретации гравитационного поля увязаны съемки разных лет и построена гравиметрическая карта вдоль регионального профиля с шириной полосы около 40 км. Полученное поле Δg было разделено на пять участков. Интерпретация гравитационных данных была проведена по каждому участку отдельно. Построение двумерных и трехмерных трансформант было выполнено в системе VECTOR. В трансформантах полях для осадочного чехла отмечаются как отдельные локальные объекты, так и валлообразные зоны, выделяемые также и по данным сейсморазведки. Для фундамента хорошо фиксируется погружение в западном направлении (к осевой зоне Казанско-Кажимского авлакогена), межблоковые зоны разломов и различные интрузивные комплексы. По результатам совместной интерпретации данных сейсморазведки и гравиразведки построена карта поверхности кристаллического фундамента. В итоге комплексной интерпретации гелого-геофизических методов по профилю Чернореченский-Тишшер выделены пять перспективных зон для постановки площадных поисково-оценочных геофизических работ с целью прогнозирования пространственного положения ловушек углеводородов и подготовки их к поисковому бурению.

Таким образом, в ходе региональных геофизических работ, проведенных по территории Камского свода и зоны его сочленения с Казанско-Кажимским авлакогеном (в пределах Пермского края) выполнены высокоточные гравиметрические наблюдения, увязка всех выполненных ранее гравиразведочных наблюдений, составление сводной карты. В ходе интерпретации геопотенциальных полей выявлены особенности геологического строения изучаемой территории, выделены гравитационные аномалии, связанные, как с объектами осадочного чехла, так и кристаллического фундамента, намечены площади для проведения детальных геолого-геофизических работ с нефтегазопромышленными целями.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант 07-05-96009

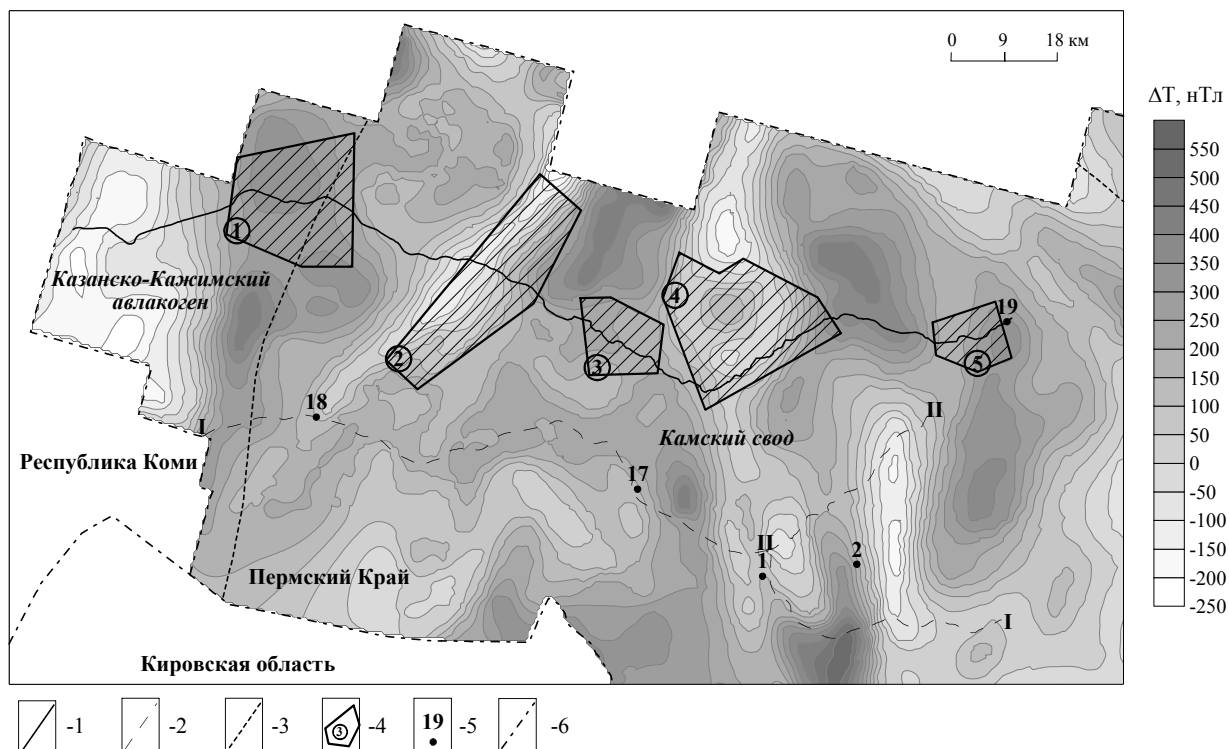


Рис. 1. Карта магнитного поля района работ.

Региональные профили: 1 - Чернореченский-Тимшер, 2 - прошлых лет (I-I - Касибский борт-Грива, II-II - Гайны-Тимшер); 3 - границы крупных тектонических структур; 4 - участки, рекомендуемые для дальнейших исследований; 5 - глубокие скважины; 6 - административные границы

ЛИТЕРАТУРА

1. Геник И.В. Применение геопотенциальных полей при региональном изучении зоны сочленения южной части Предуральяского прогиба и Передовых складок Урала (в пределах Пермского края) // «Актуальные проблемы поздней стадии освоения нефтегазодобывающих регионов». Материалы международной научно-практической конференции, 10-12 сентября 2008 года. – Казань, «ФЭН», 2008. – С. 104-107.
2. Новоселицкий В.М., Неганов В.М., Бычков С.Г., И.В.Геник. Технология проведения региональных геофизических работ на территории Пермского края // International Conference & Exhibition EAGE, EAGO and SEG. Saint Petersburg, 16-19 October 2006. P124 (electronic format).
3. Новоселицкий В.М., Неганов В.М., Бычков С.Г., Геник И.В., Зотеев М.С. Методические аспекты комплекса региональных сейсмо-, грави-, магниторазведочных исследований, проводимых в Пермском Прикамье // "Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей". Мат-лы 32-й сессии Межд. сем. им. Д.Г. Успенского. – Пермь, ГИ УрО, ОИФЗ РАН, 2004. – С. 208-212.

Урал – естественный полигон исследований сейсмических событий разной природы

*А.А. Годзиковская, Л.С. Чепкунас godzanna@mail.ru, luba@gstras.ru;
Геофизическая служба РАН, Обнинск*

Начиная с 2001 по 2007 гг. каталоги сейсмических событий Уральского региона опубликованы разными авторами в четырёх различных изданиях, что выводит этот регион на первое место среди всех других регионов России [1-4]. Далее согласно году издания эти каталоги обозначаются: Ур-2001, Ур-2002, Ур-2003 и Ур-2007. Каталоги Ур-2001, Ур-2003 и Ур-2007 [1, 3, 4] являются компиляционными сводками ранее опубликованных параметрических строк. В этих изданиях и в работах, на которые ссылаются их авторы, для

подавляющего большинства сейсмических событий нет работ, в которых бы было указано, на основании каких исходных материалов, с использованием каких методов и инструментов (годографы, энергетические номограммы) и кем были определены те или иные параметры очагов. Для ряда сейсмических событий в этих изданиях указана природа. Каталог Ур-2002 [2] является первым и пока единственным изданием, в котором для 71 сейсмического события Урала за период 1914-2002 гг. были собраны и опубликованы все найденные первичные материалы. В этом издании также приведены динамические и кинематические замеры записей региональных сейсмических событий на сейсмограммах уральских сейсмостанций «Свердловск», «Арти» и акты обследования горных ударов. Указан годограф, по которому определялись эпицентральные расстояния. Указаны энергетические номограммы и методы определения энергетического класса, магнитуды и приведена используемая формула взаимосвязи этих двух оценок энергии очага. Для каждого сейсмического события была обозначена его природа.

В настоящее время, сотрудниками ГС РАН в рамках задачи уточнения параметров и природы сейсмических событий Восточно-Европейской платформы и Урала, для монографии были собраны материалы раннего инструментального периода Уральского региона для событий, параметрические строки которых попали в издания Ур-2001, Ур-2003 и Ур-2007 [1, 3, 4]. Для каждого сейсмического события построена карта, на которой показано положение эпицентра искомого события относительно общего поля эпицентров региона. Материалы по каждому сейсмическому событию представлены таким образом, что любой пользователь может проверить логику получения авторами параметров очага, на основании предъявленных имеющихся на сегодняшний день исходных данных. В результате проведённой работы составлен Сводный каталог Урала, который на настоящее время наиболее обоснован. Монография готовится к публикации. В перечисленных изданиях с 1901 г. по 2002 г. на Урале оказалось 83 сейсмических событий, распределение их по категориям приведены в таблице 1.

Таблица 1. Природа и категории сейсмических событий

Природа	Символ	Характеристика	N
Тектоническое;	*	Землетрясения, связанные с тектонической активностью.	1
Техногенные	Ф 2	Взрывы, возможно взрывы, все типы горных ударов.	7 40
Экзогенные	θ	Карстовые, возможно карстовые явления и другие провалы, обвалы.	14
Ошибочные	∃	Сведений о событиях в указанных источниках не найдено.	2
Недостовверное	∴	По имеющимся данным нельзя определить координаты и природу очага.	17
Возможно уточнения	0	По собранным материалам нельзя оценить параметры и природу события, однако предположительно есть данные, которые разрешат это сделать.	2

К категории «недостовверные» отнесены все сейсмические события, для которых в каком-то каталоге (издании) имеется параметрическая строка без цитирования и рассмотрения первичных материалов (сейсмограммы, макросейсмические описания и т.д.), и которые сегодня нами также не найдены.

На рис. 1 приведена хронологическая последовательность сейсмических событий, в зависимости от магнитуды. На хронологической оси указаны сейсмические станции «Свердловск» и «Арти» в соответствии с началом их работы. Как видно, наблюдается рост зарегистрированных событий со времени открытия высокочувствительной станции «Арти».

На рис. 2 приведена карта эпицентров сейсмических событий Урала, согласно природы каждого из них (табл. 1). Условные обозначения на карте эпицентров не соответствует условным обозначениям рис. 1 в связи с тем, что в программах картографической MapInfo и графической Excel различен набор символов.

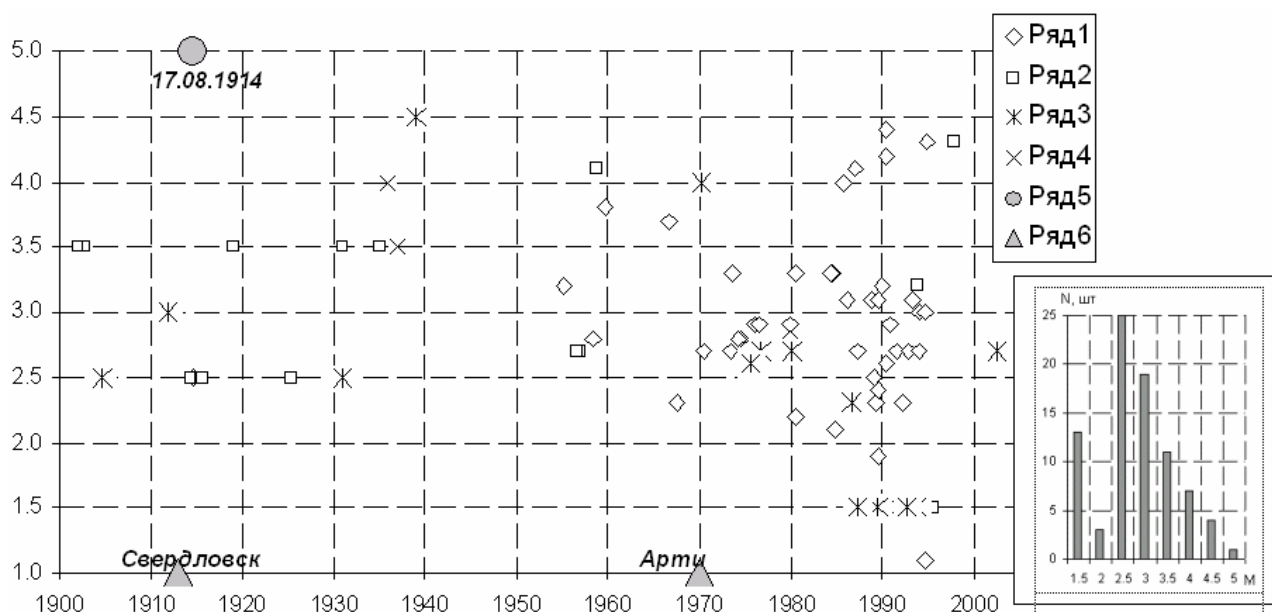


Рис. 1. Хронологическая последовательность сейсмических событий

Условные обозначения: Ряды 1, 2, 3, 4, 5 соответствуют событиям следующей природы: техногенные, экзогенные, недостоверные (природа не определена), ошибочные, тектонические. Ряд 6 – сейсмические станции. Во врезке приведено распределение числа сейсмических событий (N) по магнитудам (M).

За более чем вековую историю составления карт эпицентров выработалась определённая практика нанесения их с учетом величины магнитуды. В данном случае, если следовать принятым размерам значков, то кроме событий с $M=3\div 5$, другие события будут на карте нечитаемыми. Если же увеличить размер значков, то в целом «визуальная» сейсмичность приобретёт неоправданную опасность. Поэтому методом подбора эпицентры всех событий с $M \geq 3.0$ нанесены одинаковым размером значка. Эпицентры событий с $M < 3$ – меньшим, но также одним размером.

На карте (рис. 2) подписаны события, произошедшие в Билимбаевском заводе (1914 г.) и в Соликамске (1995 г.). Эпицентры ГТУ на ЮУБР и СУБР с магнитудами $M=1.1\div 4.4$ и совпадающими координатами, на карте несколько разнесены.

Как видно из положения эпицентров на карте, техногенные события, относящиеся к категории ГТУ, имеют определённую территориальную приуроченность (Кизел, ЮУБР, СУБР). Приуроченность некоторых сейсмических событий экзогенной природы, учитывая имеющиеся описания, не вызывают сомнения. Эпицентры событий «недостоверные» и «не установленной природы» достаточно рассредоточены по площади региона. Для большинства событий этой категории имеется мало надежды, столько лет спустя найти материалы, по которым можно было бы уточнить их параметры и природу. Однако для двух сейсмических событий, для которых есть свидетельства их проявления в районах Златоуста и Миасс, природа может быть уточнена. Этой перспективе посвящен доклад «Возможная природа сейсмических событий района Златоуста-Миасс» на этом же совещании.

При сопоставлении поля эпицентров сейсмических событий с геологическим строением региона знание природы каждого сейсмического события имеет очень большое значение. Ошибочные результаты сопоставительного анализа ложатся в основу решения прикладных задач, одна из которых – районирование сейсмической опасности. Одно дело, когда в регионе наблюдается рассеянная естественная сейсмичность, связанная с современной тектонической активностью. Другое дело, когда в регионе наблюдаются одиночные сейсмические события, природа которых не установлена, но для ряда этих событий на записях имеются признаки взрывного источника, а для других, по имеющимся первичным материалам, эти события должны быть отнесены к категории «недостоверные».

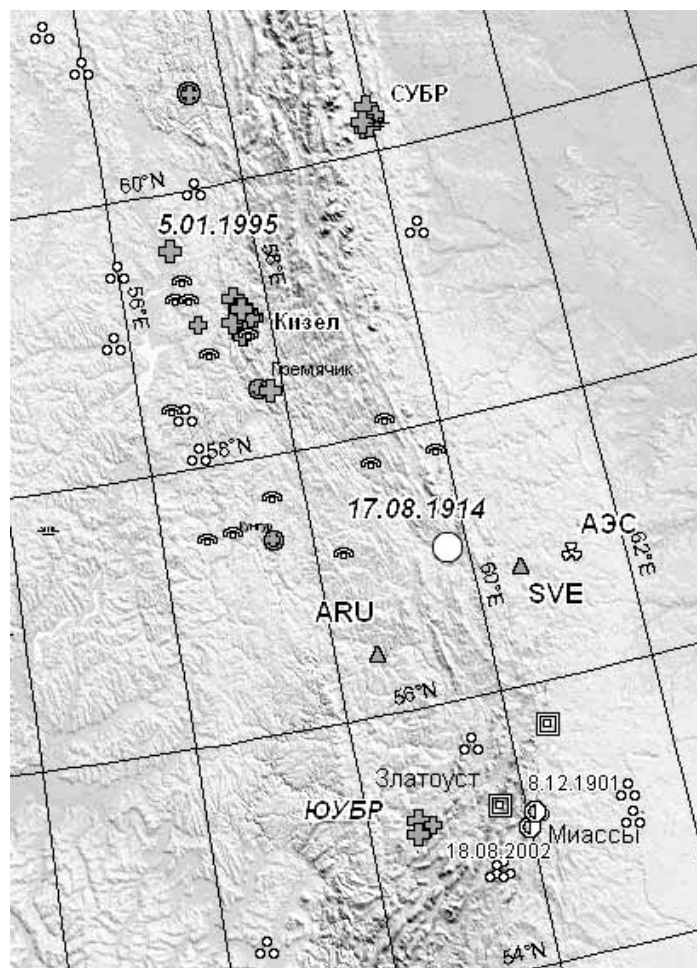


Рис.2. Карта эпицентров рассмотренных событий Урала.

На Урале происходят сейсмические события разной природы, что позволяет рассматривать его как уникальную, естественную лабораторию по исследованию различия их макросейсмического проявления и выяснению распознавательных признаков на сейсмических записях. Нужно отметить, что уравнение макросейсмического поля Урала, приведённое в [5], учитывая слабую сейсмическую активность региона, не подкреплено коэффициентами, полученными на основе регионального опыта. Отметим, что глубины ГТУ, рассчитанные по формуле приведённой в [5], получаются порядка 5÷15 и более километров.

Первым опытом составления уравнения макросейсмического поля ГТУ являются работы В.С. Ломакина [6, 7].

В создавшемся положении, учитывая народнохозяйственное значение проблемы, для получения достоверного экспериментального материала необходимо, как минимум организовать в регионе следующие работы. Первое – передачу сведений о всех взрывных работах в ближайший сейсмологический центр или на ближайшую сейсмическую станцию. Второе – местным организациям, проводящим экспериментальные сейсмические наблюдения и ведущим научные сейсмологические исследования, включать в свои программы оперативное обследование эпицентральной области сейсмических событий, которые имеют макросейсмические проявления или магнитуду $M \geq 3.5$.

В слабоактивных регионах, в которых по ряду причин очень мало достоверного экспериментального материала и опыта его интерпретации, не стоит избегать предположительных решений. Если, к примеру, не включать в программы оперативное макросейсмическое обследование эпицентральных областей, то нельзя рассчитывать на финансирование этого обследования. Тем более, что эти работы связаны с объездом большого количества населённых пунктов (более нескольких десятков) и опроса их жителей, что заведомо должно занимать много времени.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кашубин С.Н., Дружинин В.С., Гуляев А.Н., Кусонский О.А., Ломакин В.С., Маловичко А.А., Никитин С.Н., Парыгин Г.И., Рыжий Б.П., Уткин В.И. Сейсмичность и сейсмическое районирование Уральского региона. Екатеринбург: Изд-во УрО РАН, 2001. 12с.
2. Ломакин С.В., Годзиковская А.А., Прибылова Н.Е., Силина И.К., Митенкова Н.В. Сейсмические события Уральского региона за 1914-2002 гг. Гидропроект, 2002. 96 с.
3. Блинова Т.С. Книга «Прогноз геодинамики неустойчивых зон». Екатеринбург. Горный институт УрО РАН, 2003. 146 с.
4. Маловичко А.А., Габсатарова И.П., Чепкунас Л.С., Старовойт О.Е. Сводный каталог землетрясений территории Восточно-Европейской платформы за период с древнейших времен до 2005 г. В кн. Инструментальные сейсмологические наблюдения на Восточно-Европейской платформе. Петрозаводск, 2007. С.60–66.
5. Новый Каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 г. М.: Наука, 1977. 534 с.
6. Ломакин В.С. Халевин Н.И., О сейсмичности Урала. Уральский геофизический вестник, №3 (сб. статей). Екатеринбург: УрО РАН, 2002. С. 89-96.
7. Ломакин В.С. Интенсивность и магнитуда горно-тектонических ударов. Геомеханика в горном деле. Доклады международной конференции 19-21 августа 2002 г.-ИГД УрОРАН, 2003. – С.268-275.

Возможная природа сейсмических событий района Златоуста - Миасс

А.А. Годзиковская, Л.С. Чепкунас godzanna@mail.ru, luba@gstras.ru;

Геофизическая служба РАН, Обнинск

Первичные материалы по двум сейсмическим событиям в районе Миасс, 8.12.1901 г. $M=3.9$ и 18.08.2002 г. $M=3.0$.

Событие 18.08.2002 г. В августе 2002 г. в Интернете появилось сообщение о сейсмическом событии 18 августа.

WebDigest.ru, август, 2002: "Небольшое (2 балла по шкале Рихтера) землетрясение случилось в городе Златоусте Челябинской области поздним вечером в воскресенье. Как сообщил нач. управления ГО ЧС Златоуста Анатолий Стародубцев, колебания стекол в квартирах верхних этажей и треск мебели были ощутимы во многих районах города. Подземные толчки были особенно ощутимы в районе машиностроительного завода. Некоторые жители многоэтажных домов поспешили покинуть свои квартиры и вышли на улицу. Никто из горожан не пострадал. По словам Анатолия Стародубцева, последнее землетрясение в Златоусте величиной 6 баллов по шкале Рихтера было зафиксировано более 100 лет назад в 1892 году".

Необходимый комментарий-пояснение: Первое. Шкала балльности Рихтера не существует. Второе. По шкале MSK-64: колебания стёкол, треск мебели – 4 балла. Третье. Землетрясение 1892 г. значит в 168 км северо-северо-восточнее Миасс в районе Сысерти. Землетрясение, проявившееся в 6 баллов на расстоянии 168 км от очага, должно было иметь магнитуду $M \geq 8$. При этом, скорее всего, Сысерть была бы полностью разрушена. Обозначенные казусы в информации говорят о том, что она была составлена не сейсмологами. К большому сожалению, сведения о тех или иных сейсмологических проявлениях, представляемые современными СМИ, чаще всего непрофессиональны.

Вскоре после появления в интернете информации, опросные сведения по просьбе В.С. Ломакина были выполнены научным сотрудником Уральского филиала ВНИМИ–Ожигановым И. А.. Ниже приведены результаты обследований, которые ранее были опубликованы в [1].

Пос. Хребет. Ощущали землетрясение многие люди, но подумали, что это массовый взрыв на щебеночном карьере, расположенном в черте поселка. Отмечались аналогичные с массовыми взрывами колебания: звон посуды, дребезжание оконных стекол. Поскольку жители поселка Хребет привыкли к массовым взрывам, то особых ощущений они не заметили. В начале подумали, что это массовый взрыв, но в это время взрывы не проводятся.

Пос. Сыростан. Люди ощущают массовые взрывы, проводимые в пос. Хребет. При этом землетрясении жители отметили более сильные вибрации, чем при массовых взрывах. При взрывах происходит дребезжание стекол, а тут как бы подбросило, толчок снизу по всему дому.

Горнолыжная трасса Сыростан. Рабочими землетрясение не замечено. На небольшом заводе сторож ничего не ощущал.

Пос. Аплян. Слабое дребезжание стекол заметили отдельные жители. В то же время более сильное дребезжание ощущали в Верх. Апляне. И слабее в Ниж. Апляне, т.е. южнее.

Г. Миасс. На западной окраине некоторые люди отметили слабые колебания и дребезжание стекол.

Ж/д ст. Уржумка (юго-восточная часть г. Златоуста). Некоторые люди отметили слабые вибрации домов. Массовые взрывы, которые проводятся в пос. Хребет, ощущаются жителями Уржумки, но очень слабо.

Новозлатоуст (в районе Машигородка, к западу от ст. Уржумка). Отмечено дребезжание стекол и звон посуды. Следует заметить, что Машигородок размещен на более возвышенном месте, чем Уржумка. Северо-западнее от Машигородка (примерно в 5 км) в районе автовокзала отдельными людьми отмечалось дребезжание стекол. Еще северо-западнее, в районе металлургического завода, некоторыми людьми отмечались в начале слабые колебания, а затем толчок. Другие же слабые колебания перед толчком не ощущали. На верхних этажах многими отмечено дребезжание стекол, звон посуды, открывались створки шкафов. Сильные колебания ощущали и на первых этажах, и в частных домах, люди выходили на улицу.

Пос. Медведевка, в 15 км западнее г. Златоуста. Некоторыми людьми ощущались слабые колебания.

Пос. Куваши, юго-западнее Медведевки. Отмечались колебания, как будто рядом с домом прошел большой гусеничный трактор. Сравнивают с трактором "Катерпиллер", который у них проходит.

Пос. Магнитка. Отдельными людьми отмечены слабые колебания.

Пос. Куса. Отдельными людьми отмечены слабые колебания.

Событие 8.12.1901 г. Первые сведения о сейсмическом событии в этом районе появились в периодической печати Урала в 1901 г. [2, 3] Ниже эти сведения цитируются полностью. При этом необходимо отметить профессионализм сообщения г. Яркова.

"Правительственный Вестник", 1901, №259: "Телеграммы Российского телеграфного агентства. Уфа, 26 ноября. Вчера (прим. - 25 ноября) около 3 часов дня, в Златоусте наблюдалось колебание почвы. Слышался подземный гул около полминуты. Несчастий с людьми и повреждения построек не было".

"Уральское горное обозрение" (автор г. Ярков), 1901 (фонды Государственной библиотеки им. Белинского г. Екатеринбурга)¹: "По поводу землетрясения. По поводу землетрясения, бывшего 25 ноября (старый стиль, уточнение ААГ) въ Миасскомъ заводе, г. Ярковъ напечаталъ въ "Урале" следующую заметку.

"Это землетрясение по своему характеру следует отнести по классификации Горнесъ къ категоріи денудаціонныхъ, т.е. происшедшимъ главнымъ образомъ вследствие удара, произведеннаго какимъ-нибудь обваломъ въ подземныхъ пустотахъ по силе своей къ

¹ Материал был собран Н.Е. Прибыловой.

четвертому классу по шкале Фореля. (MSK-64 – 4 балла). Причиной этого землетрясения следует считать обвал какой-нибудь громадной пещеры. Если считать, что поле землетрясения занимает площадь радиусом в 25 верст, то эпицентр землетрясения легко будет найти, он должен находиться на север от Миасского завода. Если-же теперь обратиться к геологическому строению данного участка, то мы видим, что здесь проходят мощные пласты известняков, содержащие местами гипс, т.е. здесь мы встречаем породы весьма легко поддающиеся размыву подземных вод и, как следствие этого процесса, легко образуются пещеры, воронки и пр. виды подобных разрушений. Нет никакого сомнения, что землетрясение 25 ноября произошло именно этим путем. Нашим геологическим комитетом уже было отмечено, что причиной столь часто совершающихся обвалов и оползней по линии Сибирской дороги от Челябинска суть именно пещеры, образовавшиеся частью от выщелачивания известняков подземными водами, частью текущими по поверхности. Страшиться таких землетрясений нет необходимости, если только центр его залегает глубоко, хотя по своему характеру такие землетрясения не делают широких разрушений, а ограничиваются лишь слабым сотрясением почвы.

Так как землетрясения у нас на Урале принадлежат к явлениям очень редким, то было-бы драгоценным для науки собрать сведения хотя-бы об этом землетрясении, как явления довольно свежем...".

Параметры этого события опубликованы впервые в Новом Каталоге [4] (табл.1).

Таблица 1 Параметры землетрясения 8.12.1901

Дата	Час	Мин	Сек	С.Ш.	В.Д.	Глубина, км	М	Io, баллы	Примечания	Источники
1901 дек 9	11 ±1 сут			55.0	60.2 ±0.2	12 6-24	3.9 ±0.5	5 ±1	г. Миасс и окрестности 4-20(2); 3-(50) неточности в датировке	Б, 1

Здесь: Б– Бюллетень Постоянной Центральной Сейсмологической Комиссии Российской АН, 1902–1908 гг. СПб., (далее при необходимости специальной ссылки – ПЦСК);

1– Ананьин И.В. Материалы по землетрясениям Русской платформы (письменные сообщения, материалы опроса свидетелей, сообщения станций ГМС и пр. фонды автора).

Комментарий-пояснение: Дата уточнена в работе [1] – 8 ноября 1901 г.

Местоположение землетрясений 8.11.1901 г. и 18.08.2002 г. приведено на рис. 1, который является фрагментом карты эпицентров Урала, построенной по данным Сводного каталога, составленного сотрудниками ГС РАН (готовится к печати).

На расстоянии 50 км от рассматриваемых эпицентров других сейсмических событий нет. Ближайшие сейсмические события расположены в 80 км (ГТУ в ЮУБРе).

К большому сожалению, местные научные организации не провели официального профессионального обследования эпицентральных зон ни в 1901 г., ни 100 лет спустя - в 2002 г.

Координаты и природа сейсмических событий 8.12.1901 и 18.08.2002 гг.

Поскольку И.А. Ожиганов утверждает, что в пос. Хребет и пос. Сыростан ощущали наиболее сильные сотрясения, то координатами макросейсмического эпицентра **18.08.2002 г.** можно считать 55.08N; 59.88E. Эпицентр этого события, определённый по эпицентральному расстояниям до сейсмических станций Арти, Свердловск, Добрянка, 55.08 N; 60.00E [1].

Сейсмическое событие 8.12.1901 г. в Новом Каталоге [4] имеет координаты 55.00N; 60.02E. С учетом замечаний Яркова («... эпицентр землетрясения легко будет найти, он должен находиться на север от Миасского завода») координаты можно несколько скорректировать 55.10N; 60.01E (по карте).

Таким образом, два рассматриваемых сейсмических событий произошли достаточно близко друг от друга (на расстоянии 12 км), возможно, в одних и тех же геологических условиях (рис. 1). Надёжность определения местоположения источника может быть оценена как достоверная. Но природа источника является очень принципиальным вопросом.

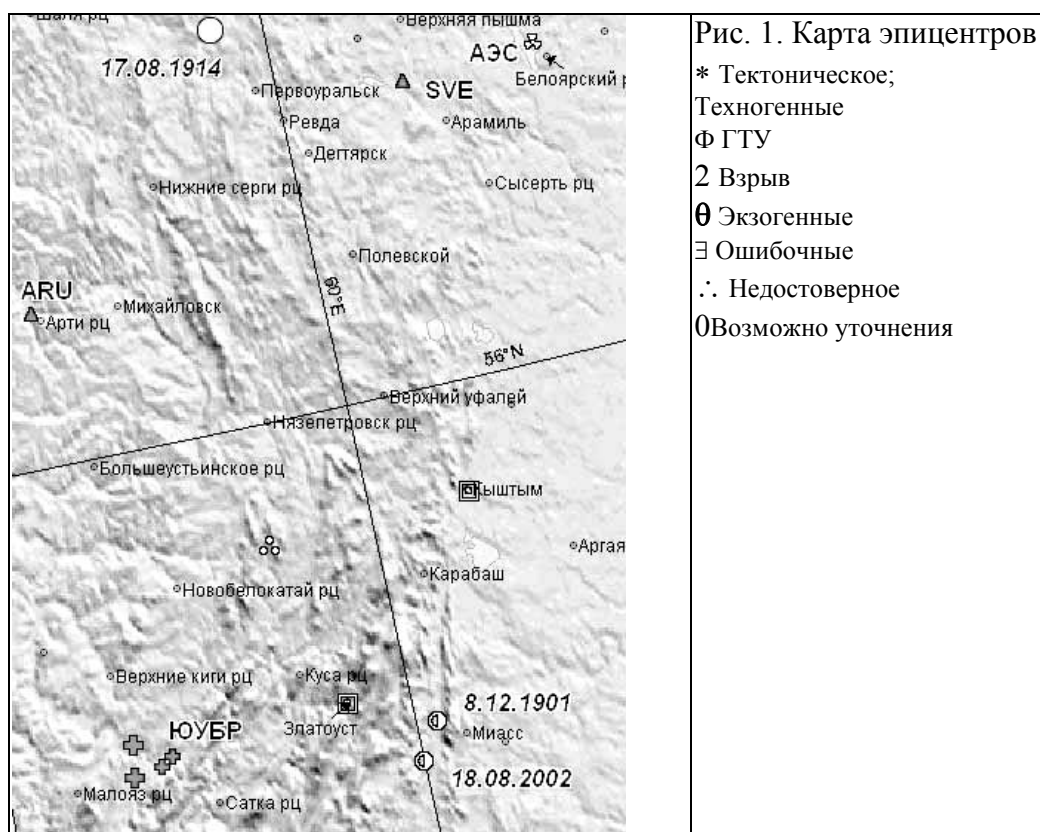


Рис. 1. Карта эпицентров
 * Тектоническое;
 Техногенные
 Ф ГТУ
 2 Взрыв
 θ Экзогенные
 Э Ошибочные
 ∙ Недостовренное
 0 Возможно уточнения

Землетрясение 18.08.2002 г. – достаточно сильное событие для Уральского региона. Оно было записано сейсмическими станциями, расположенными как на территории России (Арти, Свердловск, Добрянка, Соликамск и Залесово), так и в странах СНГ (Казахстан – Муқанчи– MKAR) и дальнего зарубежья (FINES, ARCES), обработка его была выполнена в нескольких сейсмологических центрах (табл. 2). Диапазон эпицентральных расстояний $\Delta=1.3^{\circ}-21,18^{\circ}$.

Таблица 2. Параметры землетрясения 18.08.2002 г. по данным ГС РАН и других центров

час	мин	с	С.ш.	В.д.	Магнитуда	Источник
15	23	58	55.3	59.9	MS=3.1	[5]
15	23	58.9	55.23	60.45	$mb=3.0; mbl=3.4; mblmax=3.3$	[6]
15	23		55.08	60.00	M=2.7	[7]
15	23	18	55.3	59.9	M=3.1	[8]
15	23		55.08	60.00	M=2.7	[1]

Как видно по данным табл. 2, значения параметров близки: координаты варьируют по широте на 20 км, а по долготе на 15 км. Магнитуда MS заключена в интервале 2.7÷3.1. При определении параметров сейсмических событий по сейсмическим записям это вполне хорошие результаты.

Возможная природа события 18.08.2002 г. В работе [1] было высказано мнение о том, что сейсмическое событие 18.08.2002 г. может являться взрывом. Такое мнение было основано на двух фактах. Первое. Автор информации, помещенной на сайте в интернете, вскоре после этого события связался с В.С. Ломакиным с предложением провести некоторое исследование. Однако, когда С.В. Ломакин, нашёл возможность поучаствовать в такой работе, то связаться с автором, сотрудником МЧС, оказалось невозможным. На официальный запрос Центра службы геодинамических наблюдений в электроэнергетической отрасли (директор А.И. Савич) ответа также не поступило. Второе. При обследовании эпицентральной области И.А. Ожиганов не смог продвинуться несколько севернее Миасс, так как там оказалась запретная зона. Таким образом, напрашивалась мысль, что в некоторой

закрытой зоне произошла нештатная ситуация, сведения о которой, по некоторым причинам засекречена.

Но, учитывая заметку Яркова и его профессионально обоснованную аргументацию, и то обстоятельство, что события 18.08.2002 г. и 8.12.1901 г. произошли в единой геологической структуре, нельзя исключать и возможность того, что природа этого сейсмического события денудационная.

Ряд авторов считают, что это было тектоническое землетрясение. В работах [10, 11] применялась процедура полосовой частотной фильтрации. В случае [10] рассматривались амплитудные соотношения A_s/A_p на узкополосных фильтрах – (2.5, 3.0, 4.5, 6.0 Гц). Для записей взрывов $A_s/A_p < 2$; для записей землетрясений $A_s/A_p > 2$. Однако, один из авторов данного сообщения отмечал на Северном Кавказе на станции «Белый Уголь» на записях взрывов из карьеров «Белый мрамор» и «Черный мрамор» соотношение $A_s/A_p \geq 5$. Периоды колебаний S– и P–волн были $0.1 \div 0.2$ с. ($10 \div 5$ Гц). В работе [11] для распознавания природы сейсмических явлений рассматривались спектральные отношения $\log(A_p/A_s)$ на частотах 5, 10, 15 Гц.

В работе [13] показано, что на определённых расстояниях и при определенном местоположении взрывного источника относительно точки регистрации спектральный анализ не выявляет признаков распознавания взрывов и землетрясений. Отсутствие распознавательных признаков на аналоговых сейсмограммах при сейсмических событиях с $K \approx 10$ не наблюдалось на станции Белый Уголь при большом взрыве в районе Нальчика. Подобная ситуация наблюдалась и на Колыме для ряда карьеров и сейсмических станций.

Логичнее, вопрос о природе сейсмических событий района Миасс нужно считать открытым. Это положение обусловлено следующим. В силу явно слабой сейсмической активности, достаточного экспериментального материала для решения этого вопроса практически нет. В регионе не проводится профессиональных макросейсмических обследований эпицентральных областей ощутимых землетрясений настоящего времени. Исключение составляет обследование ГТУ в 1995 г. в Соликамске.

В работе [12] показано, что устойчивые распознавательные признаки имеются на сейсмических записях местных взрывов и землетрясений на расстояниях от 10 до 90 км. На записях взрывов максимальные амплитуды находятся в области поверхностных волн на периодах более $T = 1.5 \div 4.0$ с. ($0.7 \div 0.25$ Гц). На записях местных землетрясений на рассматриваемых расстояниях поверхностные волны отсутствуют. Максимальные амплитуды наблюдаются в S–волнах и периоды их $T = 0.1 \div 0.2$ с. Максимальные периоды, соответствующие максимальным амплитудам при взрывах, равны $T = 1.5 \div 4$ с.

Применительно к рассматриваемому сейсмическому событию 18.08.2002 целесообразно привлечь экспериментальный материал станции «Миассово», расположенной на расстоянии 18 км от эпицентра. Материалы этой же станции могут быть полезны также для оценки природы сейсмических событий различной природы: взрывов, карстовых провалов или тектонических землетрясений. Кроме того, тектоническая природа сейсмических событий в этом регионе может быть надёжно установлена только по макросейсмическим обследованиям.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ломакин С.В., Годзиковская А.А., Прибылова Н.Е., Силина И.К., Митенкова Н.В. 2002. Сейсмические события Уральского региона за 1914-2002 гг. Гидропроект, 2002. – С. 64-65.
2. Газета "Правительственный Вестник", 1901. №259
3. Газета "Уральское горное обозрение" (автор г. Ярков), 1901
4. Новый Каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 г. 1977. М.: Наука. 1977.– 534 с.
5. ССД ГС РАН – //www.ceme.gsras.ru
6. Reviewed Event Bulletin of the CTBT_IDC. 2002

7. Маловичко А.А., Габсатарова И.П., Чепкунас Л.С. Старовойт О.Е. Инструментальные сейсмологические наблюдения на Восточно–Европейской платформе // Землетрясения и микроземлетрясения в задачах современной геодинамики Восточно–Европейской платформы. Книга 1. Землетрясения. Петрозаводск: ГС РАН, КНЦ ИГ РАН, 2007.– С. 65.
8. Маловичко Д.А. // Пермская область Землетрясения и микроземлетрясения в задачах современной геодинамики Восточно–Европейской платформы. Книга 1. Землетрясения. Петрозаводск: ГС РАН, КНЦ ИГ РАН, 2007.– С. 261
9. Сейсмограммы землетрясения 18.08.2002 с сайта <http://pts.mi-perm.ru/region>
10. Маловичко А.А., Маловичко Д.А., Голубева И.В., Иванова Ю.В., Старикович Е.В. Природная и техногенная сейсмичность // Проблемы сейсмологии III–го тысячелетия. Материалы международной конференции 15-19 сентября 2003 г. Новосибирск: СО РАН, 2003. – С.196-199.
11. Овчинников В.М., Габсатарова И.П. О природе сейсмических источников на Среднем Урале 18 августа 2002 г. и 15 октября 2003 г. // Мониторинг ядерных испытаний и их последствий. Третья международная конференция . 09–13 августа 2004 г. Боровое, Казахстан. Тезисы докладов. Курчатов: МЭИМР Республики Казахстан, НЯЦ Республики Казахстан, 2003. – С.28.
12. Годзиковская А.А. //Местные взрывы и землетрясения. Ротапринт. «Гидропроект», Москва, 1995.–100 с.
13. Асминг. В. <http://www.krsc.ru>

УДК 551.5

Тепловое поле Башкирского Предуралья.

И.В. Голованова¹, И.В. Масагутов И.В.²

1 – Тел.: 8-347-272-82-56. Факс: 8-347-273-03-68. E-mail: golovanova@anrb.ru;

2 – Тел.: 8-347-262-44-06. Факс: 8-347-262-41-75. E-mail: masagutovz@mail.ru

1 – Учреждение Российской Академии наук Институт геологии Уфимского Научного Центра РАН, г. Уфа, Россия, 2 – ООО «Башнефть–Геопроект», г. Уфа, Россия

Для оценки перспектив нефтегазоносности глубоких горизонтов осадочного чехла платформенного Башкортостана необходимы сведения о естественном, невозмущенном тепловом поле земной коры в районе работ. Южный Урал и прилегающая часть Восточно-Европейской платформы относятся к довольно хорошо изученным в геотермическом отношении регионам. Однако в последние десятилетия основное внимание исследователей было посвящено, в основном, изучению распределения плотности теплового потока, как наиболее информативного параметра, и интерпретации его аномалий. Распределению температур в осадочном чехле платформенной части территории уделялось гораздо меньшее внимание. В то же время, распределение температур на различных уровнях и стратиграфических горизонтах в осадочном чехле платформенной части территории может быть полезно для оценки перспектив нефтегазоносности региона и для выявления зависимости размещения нефтегазоносных залежей и условий их разработки от температурного режима [1-2].

Практически единственным источником сведений о естественной температуре горных пород на изучаемой территории являются данные термометрических исследований, проводившихся трестом «Башнефтегеофизика» в эксплуатационных и разведочных скважинах на протяжении многих лет. Решая геолого-производственные задачи, эти термограммы, к сожалению, не всегда пригодны для анализа геотермического режима. Из огромного количества производственных термограмм можно использовать лишь незначительную часть.

В ходе проведения геотермических исследований Институтом геологии УНЦ РАН были собраны фондовые термометрические материалы производственных организаций, часть из них использована для оценки плотности теплового потока [3-4]. В данной работе имеющиеся производственные термометрические материалы были заново проанализированы. Отобранные ранее пригодные для характеристики геотермического режима данные были существенно дополнены новыми. Основное внимание было уделено характеристике глубоких горизонтов осадочного чехла.

Вопрос о влиянии различных факторов, искажающих естественное тепловое поле, и об источниках ошибок при температурных измерениях в скважинах детально обсуждался В.Е.Сальниковым [3]. Степень и знак влияния различных факторов на результаты температурных измерений различны, поэтому для конкретных условий важно оценить амплитуду искажений и, при необходимости, ввести соответствующие поправки в наблюдаемые значения температур. В.Е.Сальниковым было показано, что в районе исследований влияние процессов денудации, осадконакопления и неотектонических движений соизмеримо с погрешностью измерений, а заметное воздействие рельефа и вариаций климата ограничивается первыми 150-200 м. На западе Башкирии мощность зоны активного водообмена составляет 100 – 200 м, а замедленного – 300 – 400 м. На больших глубинах поле практически стационарно. Анализ влияния возможных искажающих факторов показывает, что для оценки геотермического режима участка нельзя использовать термозамеры, выполненные без достаточной выстойки после цементирования скважины и окончания ее проходки. Исключению из анализа должны подвергаться интервалы, в которых отмечается влияние перемещающейся по скважине жидкости.

В дополнение к методике исследований, изложенной в работах В.Е.Сальникова, отметим следующее. До недавнего времени считалось, что вариации климата вносят значительные искажения в геотермический градиент только в самой верхней части разреза. Хотя климатические изменения температуры с большим периодом будут сказываться на значительных глубинах, поправки на климат прошлых эпох в результаты наблюдений на Урале не вводились в связи с отсутствием точных данных о длительности климатических эпох и амплитуде изменений температур за это время [3]. В последнее время появились работы, в которых более детально анализируется влияние палеоклимата на тепловое поле Земли [4-7]. Показано, что палеоклимат оказывает существенное влияние на плотность теплового потока в интервале глубин до 2000 м и глубже. Наиболее заметную роль в искажении современного теплового поля играют вюрм-голоценовое потепление (около 10000 лет назад) и похолодание малого ледникового периода (150 – 650 лет назад). В результате геотермический градиент, а, следовательно, и тепловой поток в этом интервале оказываются пониженными. Этот факт необходимо учитывать при оценке температур глубоких горизонтов, не вскрытых бурением. Отметим также, что возможно влияние конвективной составляющей теплового потока.

Качество оценки геотермического режима зависит как от степени учета возможных искажений, так и от точности температурных измерений. В зависимости от поставленных задач, температурные измерения производственными организациями выполняются по различной методике и с различной точностью. Обычная точность измерения температуры в большинстве производственных организаций не превышает $\pm 0,2-0,5$ К. Для платформенной части Башкортостана характерны геотермические градиенты величиной 1,5-2,0 К/100 м, поэтому по производственным термограммам величину геотермического градиента с относительной ошибкой $\pm 5\%$ можно определить только для больших интервалов, порядка 500-1000 метров. Это обстоятельство существенно уменьшает информативность данных и ограничивает применение производственных материалов при геотермических исследованиях. Имеются также термограммы, записанные с погрешностью 0,02-0,05 К.

Зачастую характеристика условий измерений бывает очень скудной. В связи с этим очень важно оценить качество материала, то есть степень достоверности определения естественных температур горных пород. При отборе термометрического материала

производственных организаций, прежде всего, принималось во внимание время покоя скважины перед термозамерами. Как правило, использовались измерения в длительно, не менее 1 месяца, простаивавших скважинах. При отсутствии сведений о выстойке скважин оценка качества термограмм выполнялась методом сравнения и по температуре нейтрального слоя [3].

Если имеются сведения о термозамерах по группе скважин, то для рассматриваемого участка строится “пучок” термограмм и по отклонению от средней кривой определяется качество отдельных термограмм. В качестве эталонной термограммы можно использовать термозамеры по тем скважинам участка, в которых наблюдения выполнены после достаточной выстойки после бурения. В других случаях усредненность термограмм является существенным недостатком метода сравнения. Например, невозможно выделение локальных температурных аномалий, т.к. аномальные кривые будут отбракованы, как имеющие большую погрешность.

Для оценки качества по температуре нейтрального слоя сравнивается температура у подошвы слоя годовых теплооборотов на глубине примерно 25 м, снятая непосредственно с термограмм или полученная экстраполяцией, с температурой этого слоя, определенной каким-либо другим способом, например, по карте, приведенной в работе [3]. Кроме отбраковки термограмм с помощью этой карты можно также проводить вычисление геотермического градиента по единичным измерениям температуры для общей оценки геотермического режима отдельных участков и оценку степени искажения термограммы движением вод в верхней части разреза. Несмотря на свою простоту, оценка степени искажения термограмм по температуре нейтрального слоя является весьма эффективной. При этом нельзя забывать следующее обстоятельство. Отбраковка термограмм, имеющих значительные искажения на малых глубинах, позволяет уменьшить вероятность грубых ошибок в определении равновесного значения геотермического градиента и теплового потока, но при этом из рассмотрения исключается материал, содержащий информацию об аномалиях геологического происхождения как приповерхностной зоны, так и более глубоких горизонтов.

Имеющиеся термометрические материалы по точности определения естественных температур целесообразно разделить на несколько классов. Нами принято использовавшееся В.Е.Сальниковым деление на шесть классов (групп): 1 – ошибка до 0,1 К; 2 – 0,1-0,5 К; 3 – 0,5-1,0 К; 4 – 1,0-5,0 К; 5 – 5,0-10,0 К; 6 – свыше 10 К. При оценке геотермического режима материалы 6 класса не использовались. Предлагаемая методика была реализована при оценке термометрического материала по нефтеносным районам Башкирии.

Для характеристики температурного поля глубоких горизонтов рассматриваемого региона по данным из 201 скважины составлена карта изотерм на отметке –2000 м (рис. 1). Качество исходного материала неоднородно, от второго до пятого класса, а расположение пунктов наблюдений по площади неравномерное. Поэтому сечение изотерм выбрано равным 5 К, а саму карту следует рассматривать как схематическую. Одной из особенностей температурного поля является его неоднородность. Максимальный перепад температур на абсолютной отметке –2000 м по территории платформенного Башкортостана составляет более 30 °С – от 24,9 до 60,7 °С. Несмотря на неоднородность по качеству исходного материала, прослеживаются в общих чертах особенности, выделенные ранее Н.Н. Христофоровой и др. [1] на карте изолиний температуры на абсолютной отметке –1000 м центральных районов Приволжского региона. Отметим, что на упомянутой карте на территории Башкортостана приведены только единичные замеры температуры. Пониженные значения температур отмечаются в северо-западной части Южно-Татарского свода и в Бирской седловине, а также в Салмышской впадине. Увеличение температуры отмечается в Мраковской впадине и на северо-востоке Башкортостана в Юрюзано-Айской впадине. Температурное поле в отдельных зонах сильно дифференцировано.

Отметим, что выяснение природы температурных аномалий и закономерностей их формирования невозможно без привлечения дополнительного геолого-геофизического

материала. Оценка энергетической активности недр более корректна по анализу распределения плотности теплового потока с использованием сведений о тепловых свойствах горных пород и литолого-фациальном составе разреза, сопровождаемому определением мощности источников тепла в земной коре и верхней мантии. Температурные карты имеют ограниченные возможности при изучении геотермического режима недр. Тем не менее, они полезны для решения большого круга научных и практических задач, в том числе технологических, гидродинамических, экологических. Такие карты являются хорошим справочно-информативным источником о температуре недр на различных уровнях.

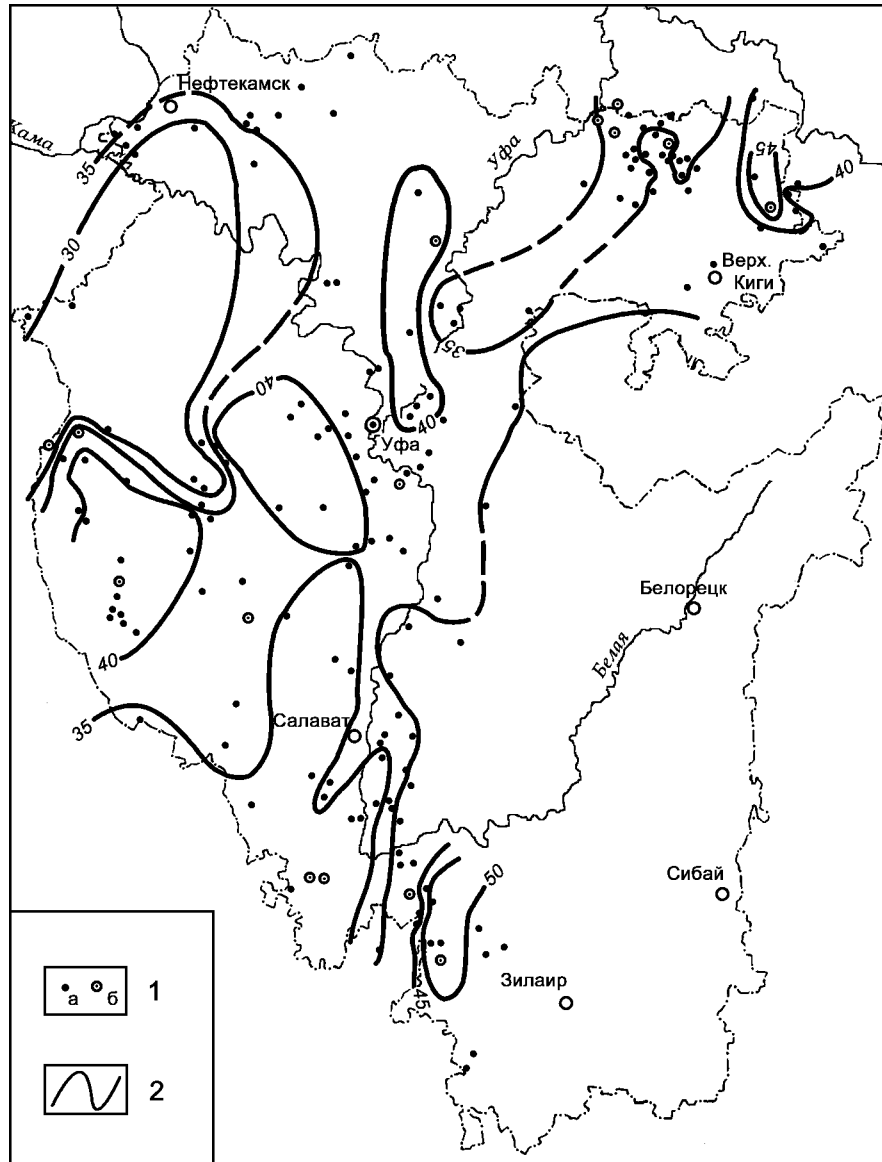


Рис. 1. Схема изотерм территории Башкирии на отметке –2000 м. 1 – пункты наблюдения: а – единичные, б – группа скважин; 2 – изотермы.

Используя имеющиеся термометрические материалы, проанализировано распределение температур по кровле вендских, верхнерифейских, среднерифейских и нижнерифейских отложений в рассматриваемом регионе. При этом в ряде случаев значения температуры на указанных границах получены экстраполяцией с использованием данных о плотности теплового потока и о теплопроводности невоскрывших отложений.

В связи с тем, что изучаемый регион является однородным в геотермическом отношении, температуры на указанных границах и их абсолютные отметки оказываются связанными между собой корреляционными зависимостями с довольно высокими

коэффициентами корреляции. Получены следующие уравнения линейной регрессии и коэффициенты корреляции.

Для кровли вендских отложений:

$$T = 2,2 - 0,019 \times H; \quad R = 0,64; \quad n = 28;$$

для кровли верхнерифейских отложений:

$$T = 6,4 - 0,018 \times H; \quad R = 0,73; \quad n = 16;$$

для кровли среднерифейских отложений:

$$T = 8,5 - 0,024 \times H; \quad R = 0,88; \quad n = 12;$$

для кровли нижнерифейских отложений:

$$T = 11,0 - 0,015 \times H; \quad R = 0,98; \quad n = 5.$$

Здесь T – температура, °С; H – абсолютная отметка, м; R – коэффициент корреляции; n – число данных.

Приведенные зависимости можно использовать для оценки в первом приближении температуры на указанных границах.

Для детализации и практического использования карты и полученных зависимостей намечены дальнейшие направления геотермических исследований на территории Башкортостана. В первую очередь желательно дополнить имеющиеся термометрические материалы новыми, более высокого качества, данными, полученными за последние 10 – 15 лет. В комплексе с другими методами необходимы измерения температуры в скважинах и определения тепловых потоков. Необходимо составить карты изотерм по более глубоким абсолютным отметкам и по кровле вендских и рифейских отложений и проанализировать влияние возможных факторов на формирование неоднородного теплового поля. Полученные результаты в комплексе с другими геофизическими данными позволят более обоснованно оценивать перспективы нефтегазоносности глубоких горизонтов осадочного чехла платформенной части Башкортостана.

ЛИТЕРАТУРА

1. Христофорова Н.Н., Непримеров Н.Н., Христофоров А.В., Николаев А.В., Христофорова М.А. Тепловой режим и оценка перспектив нефтегазоносности Приволжского региона // Георесурсы. 2004. № 1(15). С. 24-27.
2. Христофорова Н.Н., Христофоров А.В., Бергеманн М.А. Анализ геотермических карт и перспективы нефтегазоносности глубинных отложений (на примере Республики Татарстан) // Георесурсы. 2008. № 3(26). С. 10-12.
3. Сальников В.Е. Геотермический режим Южного Урала. М.: Наука, 1984. 88 с.
4. Голованова И.В. Тепловое поле Южного Урала. М.: Наука, 2005. 189 с.
5. Пименов В.П., Попов Ю.А., Климанов В.А. Вертикальные вариации теплового потока и палеоклимат // Физика Земли. 1996. № 6. С. 84-92.
6. Демежко Д.Ю. Геотермический метод реконструкции палеоклимата (на примере Урала). Екатеринбург: УрО РАН, 2001. 144 с.
7. Kukkonen I.T., Golovanova I.V., Khachay Yu.V., Druzhinin V.S., Kosarev A.M., Schapov V.A. Low Geothermal heat flow of the Urals fold belt - implication of low heat production, fluid circulation or palaeoclimate? // Tectonophysics. 1997. V. 276. P. 63-85.

Тепловое поле востока Евразии

П.Ю. Горнов gornov@itig.as.khb.ru

Институт тектоники и геофизики им. Ю.А. Косыгина

Проблема изучения термического режима земной коры и верхней мантии, его взаимосвязи с другими геофизическими полями, тектоническими, магматическими и метаморфическими процессами является важнейшей фундаментальной задачей геологии и одной из ключевых в науках о Земле.

Рассматриваемый регион включает в себя чрезвычайно сложные по геологическому строению Алдано–Становой и Сино–Корейский щиты, сложенные структурами нижнедокембрийского кристаллического фундамента соответственно Сибирской и Северо–Китайской платформ; вместе с тем, он находится в области взаимодействия Центрально–Азиатского и Тихоокеанского подвижных поясов.[1]. Между указанными выше древними щитами расположены разного рода и размера геологические образования: микроконтиненты (микроплиты, массивы с древним метаморфизованным фундаментом), аккреционные и коллизионные складчатые системы (орогенные пояса) и многочисленные наложенные и рифтогенные впадины, (рис. 1).

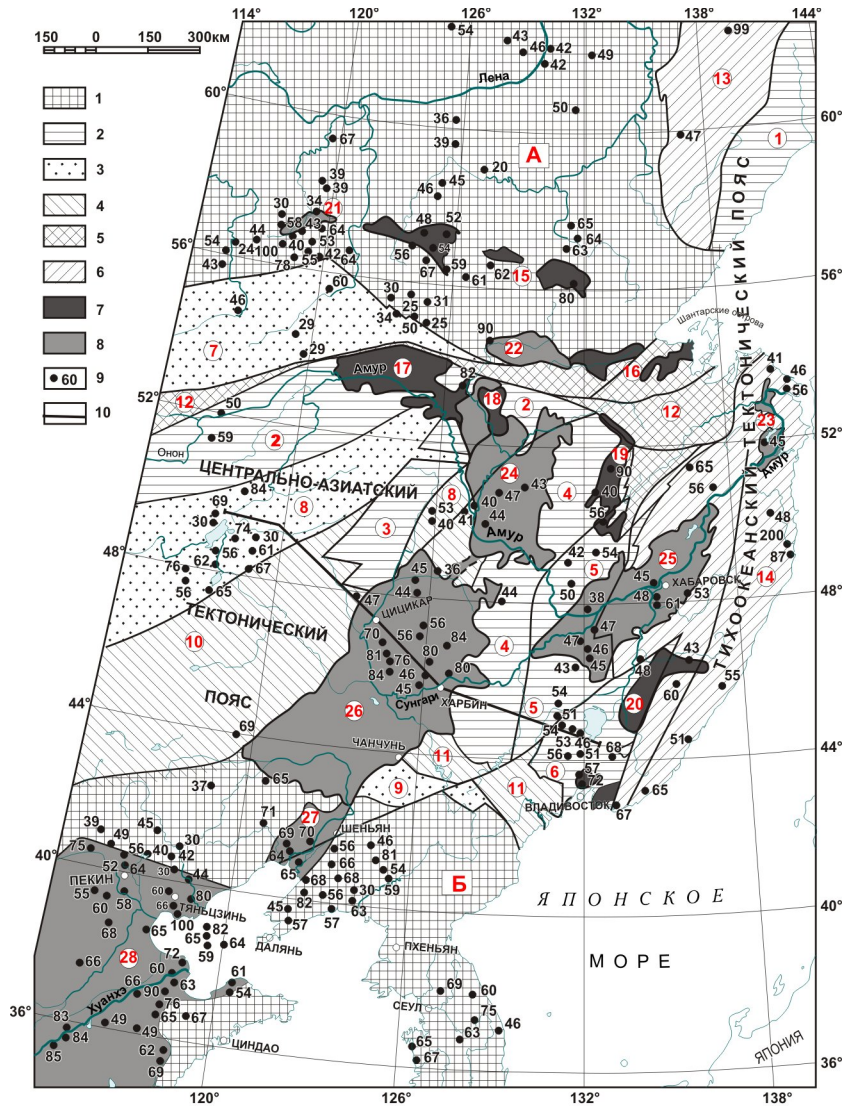


Рис. 1. Схема тектонического районирования восточной Евразии (по Л.П. Карсаковой, Ren Jishun, с упрощением)

Рис. 1. Схема тектонического районирования востока Евразии. [по 6,8 с упрощением]

1 – древние щиты (буквы в прямоугольнике): Алдано–Становой (А), Сино–Корейский (Б). 2 – массивы (микроконтиненты), здесь и дальше арабские цифры в кружках: 1–Охотский, 2–Керулено-Мамынский, 3–Дягдачи, 4–Турано-Чжангуанцайлинский, 5–Цзямусы–Малохинганский, 6–Ханкайский. 3 – ранне палеозойские орогенные пояса: 7 – Селенга-Становой, 8–Северо–Хинганский; 4 – поздне палеозойские орогенные пояса; 9 – Ондоро–Сумский, 10 – Луньцзян–Селемджинский, 11 – Силамулунь–Иэнбэньский; 5 – поздне палеозойские–мезозойские орогенные пояса; 12 – Монголо–Охотский. 6 – мезозойские орогенные пояса; 13 – Верхояно–Колымский, 14 – Сихотэ-Алинский. 7 – мезозойские осадочные бассейны; 15 – Южно-Якутский, 16 – Удский, 17 – Верхнеамурский

прогиб, 18 – Депский, 19 – Буреинский, 20 – Приморский. 8 – мезозойско–кайнозойские осадочные бассейны; 21 – Байкальская группа впадин (Чарская, Токкинская), 22 – Верхнезейский, 23 – Нижнеамурский, 24 – Амуру-Зейский, 25 – Среднеамурский, 26 – Сунляо, 27 – Ляохе, 28 – Бохайский. 9 – тепловой поток мВт/м²; 10 – геотермический профиль – Маньчжурия–Суйфыньхе. Данные по значениям теплового потока взяты [2, 3, 4, 7]

Материковая часть востока Евразийского континента характеризуется низкой геотермической изученностью и для ряда площадей недостаточной. Неохвачены постоянными наблюдениями обширные территории континента. Сеть измерений теплового потока и геотермического градиента на востоке России крайне редкая [2]. Более полная информация о геотермических характеристиках земной коры имеет северо-восток Китая [7].

Исследуемый регион обладает не высоким значением геотермических параметров (таблица 1). Значения теплового потока (ТП) и геотермического градиента (ГГ) часто ниже среднеевропейских. Простирание аномалий теплового потока в целом соответствует направлению геоморфологических и тектонических структур. На востоке России аномалии теплового потока, как и структуры, ориентированы в меридиональном и северо–западном направлении, на северо–востоке Китая – в северо–восточном и субмеридиональном.

Геологические структуры со стационарным тепловым режимом – щиты, срединные массивы, молодые осадочные бассейны обладают невысокими значениями ТП (45÷55) мВт/м² и ГГ (25÷30) К/км. Наименьшая величина ТП (47±3,5) мВт/м² и ГГ (21±1,7) К/км характерна для Алдано–Станового щита. Средние значения ТП и ГГ на Сино–Корейском щите составляет (56±2,8) мВт/м² и (29±1,5) К/км.

Нестационарный режим охлаждения характерен для большей части орогенных поясов региона, закончивших активную фазу своей тектономагматической деятельности (Селенга–Становой, Северо–Хинганский, Сихотэ–Алинский и др.). Для этих структур типичны слабоповышенные значения ТП и ГГ (45÷60) мВт/м², (25÷30) К/км. Глубинная энергия в этих районах продолжает выноситься термальными водами и в наши дни, образуя многочисленные геотермальные зоны (Тумнинская, Кульдурская, Даляньская и др.) с аномально высокими значениями ТП более 100 мВт/м² и ГГ более 50 К/км.

Геологические структуры с нестационарным тепловым режимом верхнекорового разогрева связанного, в первую очередь, с экранизацией тепла слаболитифицированными терригенными осадками и, возможно, повышенной радиоактивностью пород чехла и фундамента, кайнозойские рифтогенные впадины – все они обладают повышенными значениями ТП (70÷90) мВт/м² и ГГ (30÷40) К/км. К структурам этого типа относятся кайнозско–мезозойские наложенные и межгорные впадины (Южно–Якутская, Буреинская, Верхне–Зейская и др.), рифтогенные впадины северо-восточного Китая – Бохайская, Ляохе, Сунляо.

Таблица 1. Геотермические параметры основных тектонических структур востока Евразии (средние значения)

Тектоническая структура	Геотермический градиент, К/км	Теплопроводность, Вт/мК	Тепловой поток, мВт/м ²	Температура на границе Мохо, С°	Мощность литосферы, км
Алдано–Становой щит	21±1,7	2,28±0,25	47±3,5	500–600	130–150
Цзямусы–Малохинганский массив	20±1,6	2,36±0,20	50±4,0	400–500	125
Ханкайский массив	33±2,1	1,71±0,17	55±3,2	600–650	115
Сино–Корейский щит	29±1,5	1,95±0,22	56±2,8	400–500	110
Селенга–Становой орогенный пояс	24±2,0	1,90±0,30	45±2,5	500–600	135
Северо–Хинганский орогенный пояс	29,5±1,5	2,09±0,25	60±3,4	700–750	100
Сихотэ–Алинский орогенный пояс	30±1,8	1,83±0,15	55±3,0	500–600	115

Южно-Якутская впадина	22±1,6	2,80±0,35	61±3,5	700–800	105
Буреинская впадина	36±4,5	2,85±0,25	85±5,5	800–900	70
Чарская, Токкинская впадины	17±1,5	2,70±0,30	45±2,0	400–500	130
Верхнезейская впадина	38±2,5	2,10±0,25	80±6,5	800–900	80
Среднеамурская впадина	24±1,3	2,12±0,20	50±3,4	400–500	120
Амуро-Зейская впадина	20±1,8	2,20±0,25	45±2,6	400–450	130
Впадина Сунляо	43±2,5	1,66±0,15	71±3,0	700–800	90
Впадина Ляохе	32±1,5	2,10±0,20	67±3,5	700–800	90
Бохайская впадина	40±3,0	1,74±0,15	69±4,0	700–800	90

Тепловое поле земной коры характеризуется распределением теплового потока и температуры на различных глубинах. В данной работе по геотрансекту Маньчжурия – Суйфуньхе построен геотермический разрез, для которого определены положение геоизотерм 200°C, 400°C, 600°C, 800°C, рассчитаны температуры на границе Мохо, мощность «геотермической» литосферы, коровая (радиоогенная) составляющая теплового потока. Полученные значения вынесены на геотермический разрез Маньчжурия–Суйфуньхе, (рис. 2).

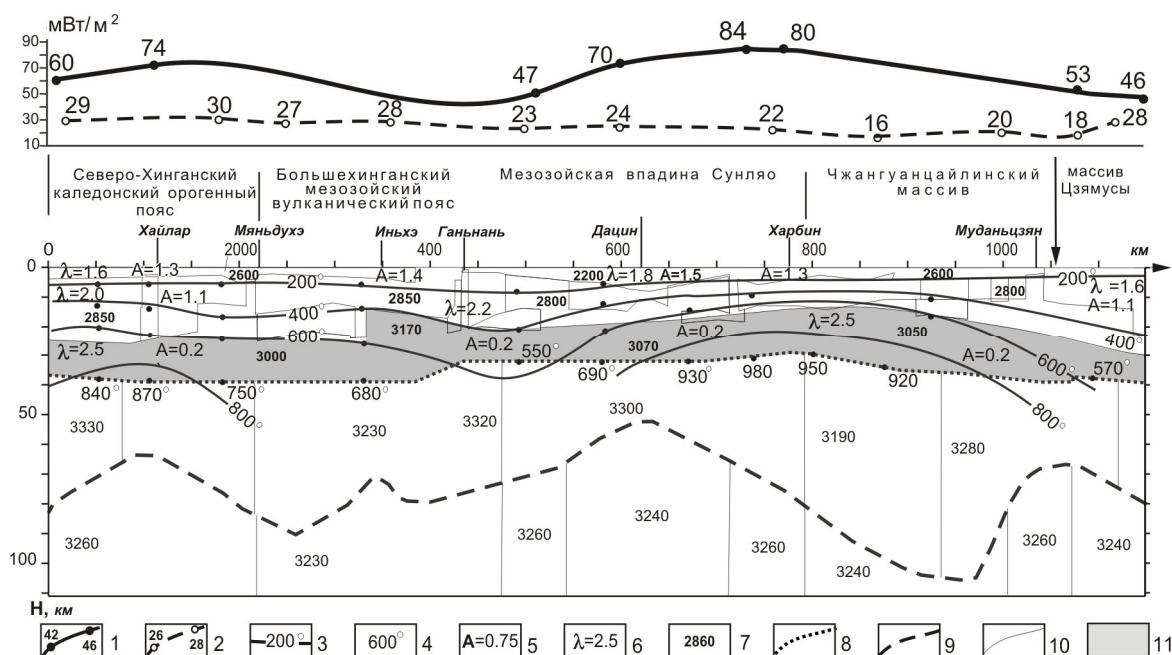


Рис. 2. Геотермический разрез литосферы по геотрансекту Маньчжурия – Суйфуньхе.

1 – Измеренные значения теплового потока, в мВт/м²; 2 – расчётные значения радиоогенной составляющей теплового потока, в мВт/м²; 3 – температура геоизотерм, в °С; 4 – температура на границе Мохо, °С; 5 – теплогенерация горных пород, в мкВт/м³; 6 – коэффициент теплопроводности горных пород, в Вт/(мК); 7 – плотность горных пород, в кг/м³; 8 – граница Мохо; 9 – кровля астеносферы; 10 – границы плотностных слоёв; 11 – слой литосферы с повышенным значением плотности.

Во всех моделях земной коры существует сложное распределение как радиоактивных элементов, так и теплопроводности горных пород по латерали и по вертикали. При распределении этих параметров учитывались модели глубинного строения, плотности слоёв земной коры и модели строения литосферы в целом. При расчётах были приняты

предположения о вертикальном, кондуктивном распределении источников тепла и о стационарном тепловом режиме.

Распределение температур вдоль профиля в поперечном сечении описывается двумерным уравнением теплопроводности в неоднородной среде, в прямоугольной области для стационарного режима. В модели использовались следующие граничные условия: температура на дневной поверхности 5°C , тепловой поток на боковых границах равен 0, использовались данные об измеренных значениях теплового потока вдоль профиля. Радиогенная теплогенерация горных пород определялась [5], содержание радиоактивных элементов и теплопроводность горных пород были взяты [7], плотности горных пород отдельных слоёв брались по плотностным моделям земной коры [10]

Слоистая структура земной коры разреза отчетливо выражена как в плотностной модели, так и в распределении геотермических параметров. Верхний слой мощностью 5-8 км дифференцирован по плотности от 2350 кг/м^3 в осадочном бассейне Сунляо до $2600\text{-}2700 \text{ кг/м}^3$ в остальной части слоя. Отмечается повышенная величина теплогенерации от 1,3 до $1,5 \text{ мкВт/м}^3$, причем максимальная в осадочной толще бассейна Сунляо. Значение коэффициента теплопроводности меняется от 1,6 до 1,8 Вт/мК , а температуры на подошве слоя – 200°C .

Средний слой имеет непостоянную мощность; 20 км на северо-западе разреза, с уменьшением до 10 км на юго-востоке и плотность $2750\text{-}2850 \text{ кг/м}^3$. Величина теплогенерации меньше, чем в верхнем слое – $1,1 \text{ мкВт/м}^3$, геотемпературы $200\text{-}400^{\circ}\text{C}$, коэффициента теплопроводности $1,6\text{-}2,2 \text{ Вт/мК}$.

Максимальной мощностью в разрезе земной коры выделяется нижний слой; от 10 км на северо-западе профиля до 20 км на юго-востоке. Он фиксируется повышенной плотностью $3000\text{-}3170 \text{ кг/м}^3$, низкими значениями теплогенерации $0,2 \text{ мкВт/м}^3$, повышенными – теплопроводности $\lambda=2,5 \text{ Вт/мК}$ и геотемператур $600\text{-}800^{\circ}\text{C}$. Температура на поверхности Мохо находится в широком диапазоне от 570 до 980°C .

Блоковая структура физических неоднородностей земной коры представлена небольшими по размерам блоками, локализованными в среднем слое коры.

Распределение мантийной составляющей плотности теплового потока характеризуется двумя аномалиями. Первая аномалия 62 мВт/м^2 соответствует впадине Сунляо. Важно отметить, что эпицентр максимума плотности теплового потока смещен к восточному борту впадины в район г. Харбин. Здесь установлена минимальная мощность земной коры 30 км, максимальная температура на поверхности Мохо 930°C . В этом месте проходит Итун-Иланьская ветвь разлома Танлу с кайнозойскими нефтегазоносными грабенами. Эта закономерность подчеркивается структурой поля геоизотерм и позволяет предполагать не только мезозойскую, но и кайнозойскую природу нефтегазоносности восточной части впадины Сунляо вместе с примыкающей к ней с востока цепочкой грабенов.

Вторая аномалия мантийного теплового потока интенсивностью 44 мВт/м^2 приходится на Северо-Хинганский каледонский орогенный пояс, на который наложены покровы мезозойских вулканитов. На поверхности Мохо здесь отмечается высокая геотемпература $840\text{-}870^{\circ}\text{C}$. Обеим аномалиям мантийного теплового потока в разрезе платформы соответствует подъем кровли астеносферы. Эпицентр астеносферного поднятия под впадиной Сунляо на поверхности фундамента отвечает максимальному прогибанию впадины, а на дневной поверхности г. Дацин.

Заключение

Выполненный анализ известной геотермической информации позволяет составить общее представление о распределении теплового потока и температурах в земной коре и литосфере региона. Тепловое поле региона характеризуется невысокими значениями теплового потока, $(50\text{-}60) \text{ мВт/м}^2$, за исключением областей нестационарного режима верхнекорового разогрева и кайнозойско-мезозойскими рифтогенными впадинами. Земная кора юго-восточной части региона более прогрета. Основные особенности распределения параметров теплового поля согласуются с представлением о возрасте тектоно-

магматической активизации. Более молодым структурам соответствует повышенные значения теплового потока.

Рассмотренные купольные структуры литосферы фиксируются высокими значениями теплового потока (60–80) мВт/м² с преобладанием мантийной составляющей (30–60) мВт/м² над коровой (20–30) мВт/м² и сопровождаются высокими значениями температур в подошве земной коры.

Аномальные особенности геотермического разреза земной коры коррелируются с поведением кровли астеносферы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Геологическая карта Приамурья и сопредельных территорий. Объяснительная записка к карте масштаба 1: 2 500 000. / Отв. ред-ры Л.И. Красный, А.С. Вольский, Пэн Юньбяо и др. Спб.–Благовещенск–Харбин: МПР РФ ВСЕГЕИ, Амурский КИП; Мин. Геологии и минер. Ресурсов КНР: Упр. Геологии и полезн. Ископ. Пров. Хэйлунцзян, 1999, 135 с.
2. Горнов П.Ю. Тепловой режим земной коры Дальнего Востока России // Закономерности строения и эволюции геосфер: Тез. докл. 4-го Международного междисциплинарного научного симпозиума / Отв. ред. Н.П. Романовский. Хабаровск, 1998, с. 169-171
3. Железняк М.Н. Внутриземной тепловой поток Алданского щита // Отечественная геология, 2003, №3, с. 61 – 64.
4. Каталог данных по тепловому Сибири (1966–1984) // ред. А.Д. Дучков. Новосибирск, Изд-во ИГиГ СО АН СССР, 1985, 82 с.
5. Моисеенко У.И. Смыслов А.А. Температура земных недр. Ленинград, Недра, Ленинградское отделение, 1986, 179 с.
6. Тектоника, глубинное строение, металлогения области сочленения Центрально-Азиатского и Тихоокеанского поясов. Объяснительная записка к тектонической карте масштаба 1: 1 500 000. / отв. ред-ры Л.П. Карсаков, Чжао Чуныцзин, Ю.Ф. Малышев, М.В. Горошкои др. Владивосток-Хабаровск, ДВО РАН, 2005, 264 с.
7. Hu Shengbiao, He Lijuan, Wang Jiyang. Compilation of heat flow data in the China continental area // China J. of Geophysics, 2001, v. 44, № 5, p. 612 – 626, (in Chinese).
8. Ren Jishun, Wang Zuoxun, Chen Bingwei et al. The tectonics of China from a global view – a guide to the tectonics map of China and adjacent regions. Beijing: Geological Publishing House. 1999. 32 p.
9. Yang Baojun, Mu Shimin, Jin Xu, Liu Car. Synthesized study on the geophysics of Manzhouli – Suifenhe geoscience transect, China // Acta geophysica Sinica, 1996, v. 39, № 6, p. 771 – 781, (in Chinese).
10. Малышев Ю.Ф. и др. Глубинное строение структур ограничения Амурской литосферной плиты // Тихоокеанская геология, 2007, т. 26, № 2, с. 3-17.

УДК 550.8.053

Реализация экстраполирующих/интерполирующих фильтров с учетом особенностей статистической структуры геофизических полей

*А.В. Грайвер, А.Ю. Давыденко, тел. 8-9148-995128, факс: 8-3952 – 405113, day@istu.edu
Иркутский государственный технический университет, г. Иркутск, Россия*

В том или ином виде процедуры интерполяции и экстраполяции полей весьма широко применяются в процессе обработки и интерпретации геофизических данных для решения технологических и интерпретационных задач.

Технологический аспект связан с практической реализацией большинства алгоритмов обработки данных для матриц, представляющих значения геофизических полей на некоторой площади. Очень часто по экономическим, физико-географическим или геологическим

причинам конфигурации реальных сетей наблюдений могут не только значительно отличаться от прямоугольной формы, но также иметь «белые пятна», появляющиеся в связи с технической невозможностью проведения или низкой достоверностью результатов работ на некоторых участках (населенные пункты или промышленные объекты, водные преграды и т.п.). Отсутствие данных в части элементов матрицы может породить серьезные вычислительные проблемы, связанные со сложностью реализации того или иного алгоритма обработки, со временем вычислений и степенью доверия к полученным результатам на участках, примыкающих к областям отсутствия первичной информации. При использовании широко распространенных процедур обработки пространственной информации с помощью скользящего окна такого рода области пониженной достоверности и существенного искажения результатов окаймляют изнутри реальный контур обрабатываемого участка. Размеры этих областей тем больше, чем больше размер окна обработки. В то же время разрешающая способность того или иного алгоритма тем больше, чем больше размер окна обработки. В этих случаях использование поля, корректно экстраполированного на полуширину окна обработки, позволяет существенно уменьшить внутриконтурные искажения.

В интерпретационном плане необходимость интерполяции или экстраполяции возникает при необходимости подавления эффектов, связанных с аномалиями высокой интенсивности. Например, наличие интенсивных магнитных аномалий геологической или техногенной природы может существенно исказить результаты вычислений, проведенных в окне обработки. Поэтому предварительное исключение областей интенсивных аномалий магнитного поля с последующей интерполяцией/экстраполяцией на эти области магнитного поля из окрестностей может повысить эффективность применяемых способов выделения слабых аномалий и разделения полей на составляющие.

Для решения задач интерполяции/экстраполяции целесообразно использовать модель аддитивной случайной помехи [1], позволяющую реализовать эти процедуры на основе авторегрессионных уравнений. Важным преимуществом использования статистического подхода и, в частности, модели множественной линейной регрессии является возможность контроля ошибки прогнозных значений.

В реализованном алгоритме вид уравнений для прогноза определяется относительным положением точек интерполяции/экстраполяции в окне обработки и статистическими характеристиками поля: вектором средних значений и автоковариационной матрицей, размерность которых определена количеством точек в используемом двумерном окне.

Существенное повышение эффективности и корректности процедур интерполяции/экстраполяции достигается за счет предварительного районирования поля на участки с его относительно стационарным характером. Дифференциация поля на стационарные участки проводится с помощью параметрического алгоритма автоматической классификации [2] с разбиением множества точек площади на компактные подмножества с относительно стационарным характером поля.

Для преодоления вычислительных трудностей, связанных с обращением матриц значительной размерности в алгоритмах дифференциации, а также для получения прогнозирующих уравнений используется псевдообращение матриц на основе известного алгоритма сингулярного разложения SVD [3].

Результат применения процедур интерполяции/экстраполяции показан на рис. 1, 2.

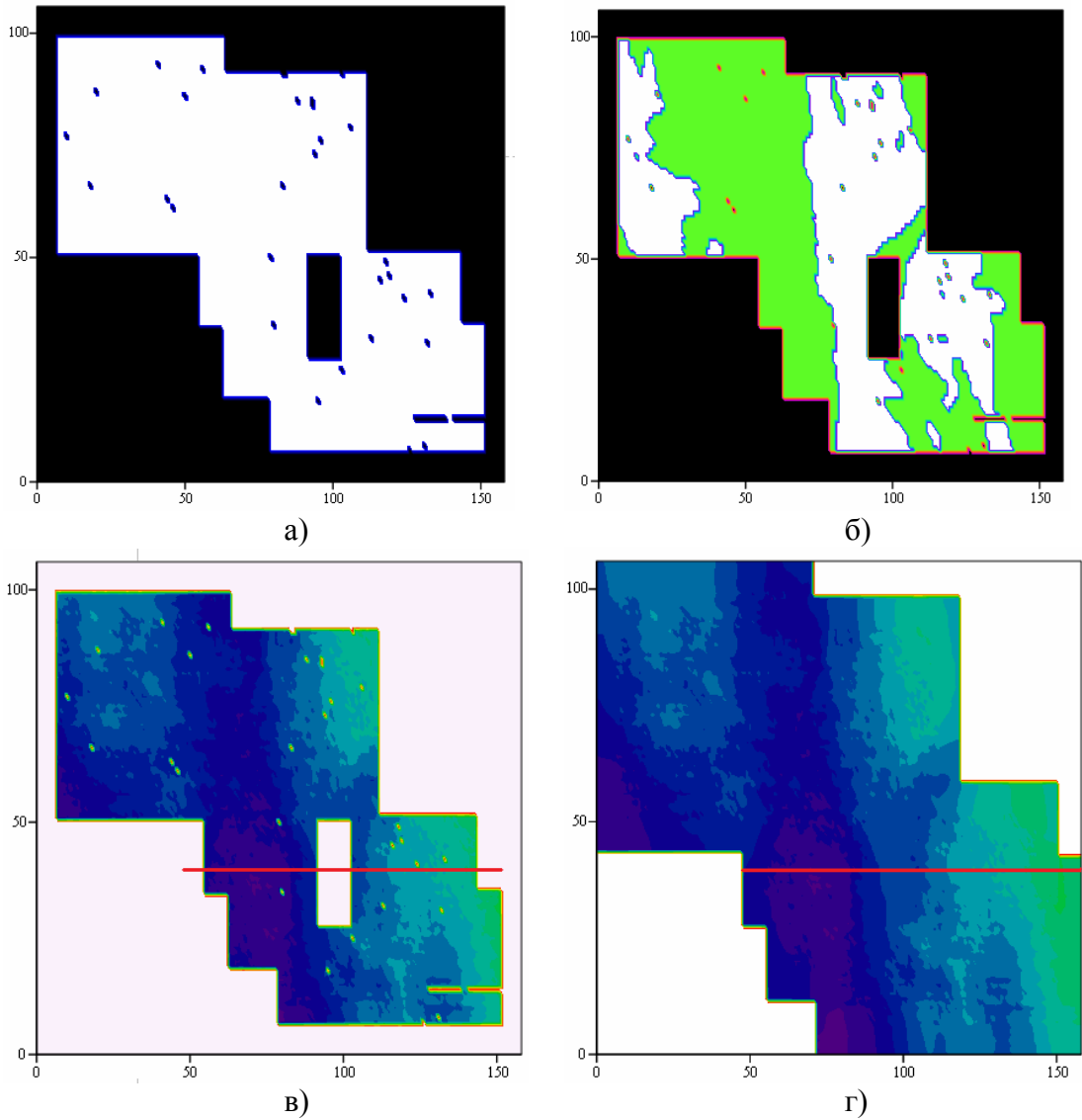


Рис.1. Интерполяция/экстраполяция данных детальной гравиметрической съемки: а) область определения исходных данных (светлая); б) выделенные участки относительно стационарного характера поля; в) исходное поле; г) результат интерполяции/экстраполяции. Красная линия, результаты вычислений по которому показаны на рис.2.

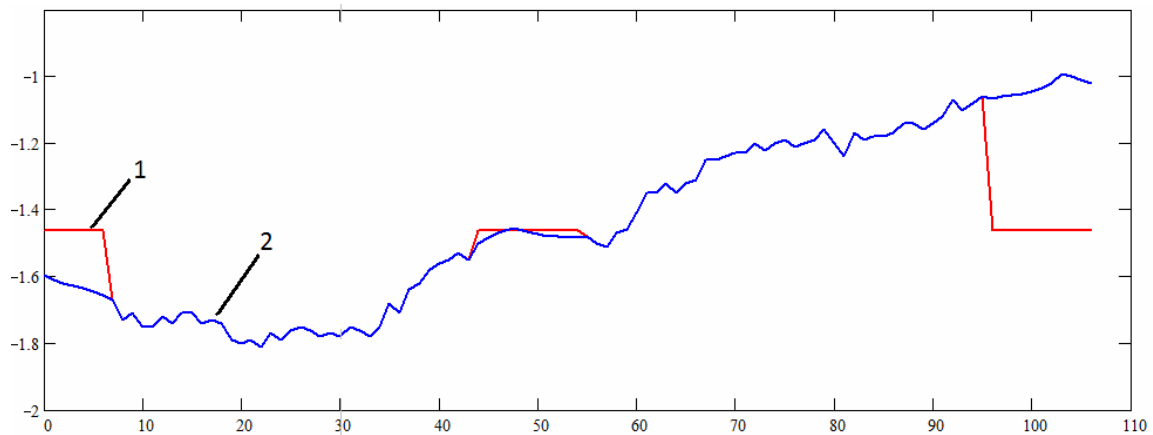


Рис.2. Результат интерполяции/экстраполяции данных по профилю (см. рис.1): 1 – график исходного поля (плоские участки – отсутствие данных); 2 – интерполированное/экстраполированное поле.

Рассмотренный подход к интерполяции/экстраполяции геофизических полей практически реализован в виде модулей в системе обработки и интерпретации комплексных геофизических данных «GeoSMI».

ЛИТЕРАТУРА

1. Никитин А.А. Теоретические основы обработки геофизической информации. М.: Недра, 1986. - 342 с.
2. Вахромеев Г.С., Давыденко А.Ю. Моделирование в разведочной геофизике. М.: Недра, 1987. - 194 с.
3. Форсайт Дж., Малькольм И., Моулер К. Машинные методы математических вычислений. М.: Мир, 1980. - 200 с.

УДК 551.24

Районирование Екатеринбурга по величине расчетной силы сейсмического воздействия

А.Н. Гуляев, E-mail: usc_alex@mail.ru

Институт геофизики УрО РАН, Екатеринбург, Россия.

Основным тезисом данной работы является то, что территория Екатеринбурга является благоприятной и практически безопасной в инженерно-сейсмическом отношении. Данный тезис основан на следующих положениях:

1. Екатеринбург построен преимущественно на скальных наиболее благоприятных в инженерно-сейсмическом отношении грунтах первой категории по сейсмическим свойствам по классификации СН и П II -7-81*, перекрытых относительно маломощным (в среднем 1-3 до 5м) чехлом коры выветривания [1,2,3,4]. В чехле коры выветривания имеются карманы глубиной более 25 м, развившиеся по зонам нарушения сплошности верхней части земной коры (рис.1). Грунты чехла коры выветривания, представленные рыхляками, переходящими вверх по разрезу в дресвянисто-щебенистые грунты, сапролиты и элювиальные суглинки, по своим физико – механическим свойствам могут быть отнесены к грунтам второй категории по сейсмическим свойствам по классификации СН и П II -7-81* (к средним грунтам).

2. Фоновая величина расчетной силы сейсмического воздействия на территории Екатеринбурга для условий грунтов второй категории по сейсмическим свойствам по классификации СН и П II -7-81* (средних грунтов) по результатам Общего сейсмического районирования Российской Федерации ОСР-97) : а) менее 6 баллов по шкале MSK-64 для объектов основного (массового) строительства, б) 6 баллов для объектов повышенной ответственности и в) 8 баллов для особо ответственных объектов [5]. На участках развития скальных грунтов первой категории эти значения уменьшаются на один балл, а на участках развития неблагоприятных грунтов третьей категории они на один балл увеличиваются.

Невысокие значения фоновой величины расчетной силы сейсмического воздействия на территории Екатеринбурга (за исключением особо ответственных объектов) определяются невысоким сейсмопотенциалом Среднего Урала [6]. Ощутимые (то есть силой более 3 баллов по шкале MSK-64) землетрясения здесь происходят редко. Большая часть из них может быть отнесена к слабым событиям. Их магнитуда не превышает 4,3. Средняя многолетняя магнитуда событий составляет порядка 2,7. Самые сильные за всю 286 летнюю историю города 4-5 балльные по шкале MSK-64 сейсмические сотрясения на территории города отмечались во время самого сильного на Урале за период инструментальных сейсмологических наблюдений Билимбаевского землетрясения 17.08.1914 года, эпицентр которого располагался приблизительно в 60 км к запад-северо-западу от Екатеринбурга [7,8]. Магнитуда события оценивается как порядка 5,0 [8]. Больше ощутимых сейсмических сотрясений от природных тектонических явлений на территории города не отмечалось.

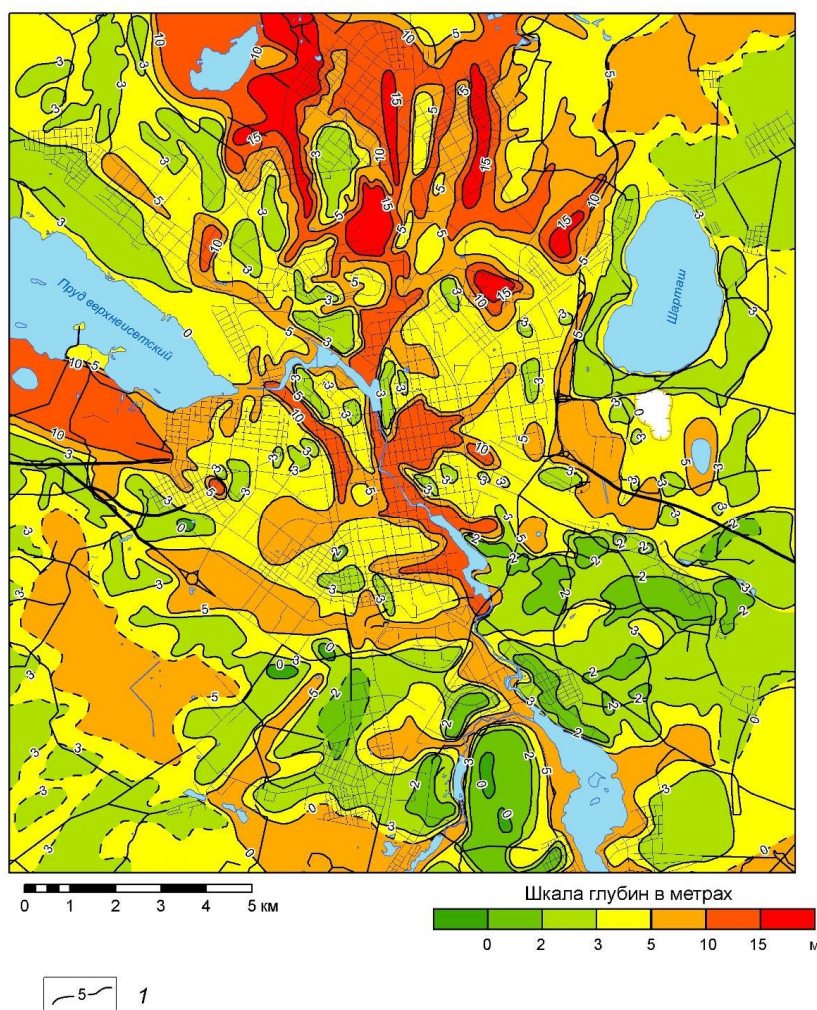


Рис.1. Мощность чехла коры выветривания и четвертичных отложений на территории Екатеринбурга. Составили: Гуляев А.Н., Дёмина А.Ю. Автор электронной версии Осипов В.Ю.

Условные обозначения к рис.1: 1. Изолинии мощности чехла коры выветривания и четвертичных отложений в метрах.

3. Приращения величины расчетной силы сейсмического воздействия на дневной поверхности относительно скальных грунтов первой категории в верхних 20 м земной коры, оцененные по методу сейсмических жесткостей, на участках, где были выполнены сейсмические работы методом МПВ, составляют менее одного балла, в среднем порядка 0,2-0,6 балла.

Районирование Екатеринбурга по величине расчетной силы сейсмического воздействия выполнено на основе методики, предложенной в работе [9]. Процесс составления схематической карты сейсмического районирования Екатеринбурга включал в себя следующие этапы:

а) районирование территории города по мощности чехла коры выветривания и четвертичных отложений с использованием обобщенных данных инженерно-геологических изысканий, выполненных на территории города различными организациями. Грунты чехла коры выветривания являются менее консолидированными, менее плотными по сравнению со скальными менее выветрелыми и трещиноватыми породами и поэтому менее благоприятными в инженерно-сейсмическом отношении. В пределах участков увеличенной мощности этих грунтов можно ожидать увеличения силы сейсмического воздействия относительно участков развития скальных консолидированных пород,

б) преобразование схематической карты мощности чехла коры выветривания и четвертичных отложений в карту сейсмогрунтовых условий с использованием карты глубины залегания основного горизонта подземных вод и схематической карты зон деформаций и нарушения сплошности верхней части земной коры, составленной по результатам морфоструктурного анализа рельефа дневной поверхности. При этом участки,

где мощность чехла коры выветривания и четвертичных отложений меньше 8-10 м были отнесены к участкам развития грунтов первой категории по сейсмическим свойствам по классификации СНиП II – 7-81*. Выбор такого предела мощности определяется средней глубиной заложения основания фундаментов 3-5 м и минимальной мощностью грунта под основанием фундаментов 5 м, необходимой для отнесения его к определенной категории по сейсмическим свойствам по классификации СНиП II – 7-81*.



Рис. 2. Районирование Екатеринбурга по величине расчетной силы сейсмического воздействия.

Серой заливкой показаны участки развития грунтов второй категории по сейсмическим свойствам по классификации СН и П II -7 -81* . В пределах них величина расчетной силы сейсмического воздействия оценивается : а) на инженерные объекты основного (массового) строительства в 5 баллов, б) на объекты повышенной ответственности в 6 баллов, в) на особо ответственные объекты в 8 баллов по шкале MSK-64. Светлой заливкой показаны участки развития грунтов первой категории по сейсмическим свойствам по классификации СН и П II -7 -81*. величина расчетной силы сейсмического воздействия оценивается : а) на инженерные объекты основного (массового) строительства в 4 балла, б) на объекты повышенной ответственности в 5 баллов, в) на особо ответственные объекты в 7 баллов по шкале MSK-64.

Черными линиями показаны оси предполагаемых зон деформаций и нарушения сплошности верхней части земной коры, имеющих

характер зон относительного субгоризонтального растяжения (отмечены разнонаправленными стрелками) и флексурно-разрывных зон (с зубчиками). Зубцы направлены в сторону погруженного блока.

Горизонтальной штриховкой показаны предполагаемые зоны геодинамического влияния разломов, отраженных на геологической карте ПГО «Уралгеология», авторы Кузовков Г.Н., и др.1987 г.

Участки, где мощность чехла коры выветривания и четвертичных отложений и глубина залегания основного горизонта подземных вод больше 8-10 м, отнесены к грунтам второй категории. К участкам с такими же инженерно-сейсмическими свойствами нами были отнесены предполагаемые зоны нарушения сплошности верхней части земной коры, выделенные по данным морфоструктурного анализа рельефа дневной поверхности. Предполагается, что во время землетрясения по этим структурам возможны: а) эффективная передача сейсмической энергии, б) подвижки блоков верхней части земной коры, которые могут способствовать повреждению линий подземных коммуникаций, повреждению фундаментов и стен зданий.

Участки, где мощность чехла коры выветривания и четвертичных отложений равна или более 8 - 10 м, а глубина залегания основного горизонта подземных вод менее 10 м грунты могли бы быть отнесены к промежуточной категории между второй и третьей

категории по сейсмическим свойствам по классификации СНиП II – 7-81*. Но физико-механические свойства данных грунтов позволяют отнести их к грунтам второй категории.

в) преобразование схематической карты сейсмогрунтовых условий в карту районирования по величине расчетной силы сейсмического воздействия на инженерные объекты разной степени ответственности (рис. 2). При этом использовались фоновые значения этой величины по результатам ОСР-97, принятые для территории Екатеринбурга [5]. На участках развития грунтов второй категории для объектов основного строительства она принята в 5 баллов, для объектов повышенной ответственности в 6 баллов, для особо ответственных объектов в 8 баллов. В пределах участков развития грунтов первой категории эти величины уменьшаются на один балл.

Анализируя полученную схематическую карту сейсмического районирования можно заключить, что территория Екатеринбурга сложена преимущественно грунтами первой и второй категорий по сейсмическим свойствам по классификации СНиП II – 7-81*.

К участкам развития сейсмогрунтов первой категории относятся большая часть возвышенностей -Уктусские горы, Вторчерметовское поднятие, Поднятие парка Лесоводов России, Сортировочное поднятие, периферийные валы кольцевых структур: Центрально-Городской, Шарташско-Березовской, Шувакишской, Карасьеозерской, Пионерское поднятие, район ВТУЗ – городка. К ним относятся так же и некоторые впадины Ботаническая (Черемшанская), в которой расположен жилой массив «Ботанический», большая часть Юго-Западной, в которой расположен жилой массив «Юго-Западный», Чистовская впадина, в которой расположен жилой массив «Комсомольский». Сила сейсмического воздействия в пределах них ожидается минимальной для территории города.

К участкам развития сейсмогрунтов второй категории относятся субмеридиональные карманы выветривания в жилых массивах «Уралмаш», «Эльмаш», субширотный карман протянувшийся вдоль Большаковской эрозионно-структурной депрессии, карман, протянувшийся вдоль юго-западного борта поймы Исети, Патрушихинская и Ширококореченская впадины. Карманы развились в мезо-кайнозойское время по осевым зонам и ближним зонам геодинамического влияния разломов Западно- и Восточно-Свердловской систем. Величина расчетной силы сейсмического воздействия на инженерные объекты в пределах этих участков ожидается не выше фоновой для Екатеринбурга по результатам ОСР-97. В случае возникновения в окрестностях города ощутимого землетрясения, подобного Билимбаевскому повреждению могут получить лишь только аварийные и ветхие инженерные сооружения. Более реальным, по сравнению с сейсмическим малоблагоприятным в инженерно-геологическом отношении фактором является геодинамический, проявляющийся в виде микроподвижек блоков верхней части земной коры по зонам деформаций и нарушения ее сплошности. Не исключено, что эти микроподвижки могут способствовать авариям на линиях подземных коммуникаций, ускоренному износу дорожного покрытия и повреждению фундаментов и стен зданий [10].

ЛИТЕРАТУРА

1. Геология СССР, том XII, часть I, книга 2, М, Недра, 1969, 302 с.
2. Кузовков Г.Н., Двоглазов Д.А., Вагшаль Д.С. Государственная геологическая карта СССР масштаба 1:200 000. Серия Среднеуральская. Лист О -41 – XXV, Свердловск, 1987, 170 страниц и графические приложения.
3. Буданов Н.Д. Гидрогеология Урала., М, Недра, 1964, 304 с.
4. Булдаков А.В., Дубейковский С.Г. Инженерно-геологические проблемы освоения подземного пространства Екатеринбурга // Инженерно-геологические проблемы урбанизированных территорий, Материалы Международного симпозиума, Екатеринбург, Т II, 2001, С.662.
5. Общее сейсмическое районирование территории Российской Федерации ОСР –97. Комплект карт и другие материалы для строительных норм и правил (СН и П) «Строительство в сейсмичных районах». М, февраль 1998, 14 с.

6. Гуляев А.Н. Оценка сейсмopotенциала центральной части Уральского региона // Материалы конференции четвертых научных чтений памяти Ю.П.Булашевича «Глубинное строение. Геодинамика, тепловое поле Земли, интерпретация геофизических полей», Екатеринбург, 2007, С. 38-41.
7. Вейс-Ксенофонтова З.Г., Попов В.В. К вопросу о сейсмической характеристике Урала. // Труды Сейсмологического института АН СССР, № 104, М.; Издательство АН СССР, 1940, 12 с.
8. Степанов В.В., Годзиковская А.А., Ломакин В.С. и др. Землетрясения Урала и сильнейшие землетрясения прилегающих территорий Западной Сибири и Восточно-Европейской платформы, ЦСГНЭО, Москва, 2002, 135 с.
9. Рекомендации по сейсмическому микрорайонированию РСМ -73 (ответственный редактор С.В.Медведев, рекомендации утверждены академиком М.А.Садовским), Институт Физики Земли АН СССР, 1973, 33с.
10. Гуляев А.Н., Дружинин В.С., Дёмина А.Ю., Гладышева Р.М., Осипов В.Ю., Косолапов А.А. Современные активные зоны нарушения сплошности верхней части земной коры на территории Екатеринбурга. // Инженерная геология, март 1/ 2008, с.13-16.

УДК 551.24

Геофизические поля, тектоника и сейсмичность в центральной части Уральского региона

*А.Н. Гуляев, e-mail: usc_alex@mail.ru
Институт геофизики УрО РАН, Екатеринбург*

Средне-Уральская область повышенной сейсмичности, вмещающая практически все эпицентры наиболее сильных Уральских землетрясений, приурочена к зоне взаимодействия и интерференции двух крупных структур – Волго-Камского выступа Восточно-Европейской платформы (ВЕП) и субмеридионального Уральского горно-складчатого сооружения. Ни севернее, ни южнее подобных областей в пределах Уральского орогена не обнаружено [3]. Волго-Камский выступ ВЕП [1] (Камско-Башкирский мегасвод по [2]) характеризуется относительно уменьшенной по сравнению со смежными регионами мощностью земной коры (менее 40-45 км) и уменьшенной глубиной залегания поверхности кристаллического фундамента (2-6 км) [3]. Общее простирание Волго-Камского выступа в пределах рассматриваемой территории северо-западное по азимуту около 330 градусов. Выступ проявляется в аномальных гравитационном и магнитном полях в виде области преимущественно положительных (увеличенных) значений [4]. Волго-Камский выступ ВЕП является элементом более крупной трансорогенной структуры, проявленной в аномальном магнитном поле, осредненном с радиусом 125 км и 250 км в виде положительной аномалии, пологой дугой пересекающей Евразию от оз. Балхаш до Кольского полуострова [4]. Ее можно назвать Архангельско-Балхашской.

На участке взаимодействия (интерференции) с Архангельско-Балхашской трансорогенной структурой Уральское горно-складчатое сооружение испытывает изгиб на восток (рис.1). При этом в области Среднего и северной части Южного Урала происходит уменьшение ширины Уральского горно-складчатого образования за счет сужения областей палеозойских Центрально-Уральского поднятия и Тагило-Магнитогорского прогиба. Здесь же происходит уменьшение высоты гор, амплитуды новейших поднятий и ширины современного горного сооружения по сравнению с Северным и Южным Уралом. Все это может быть следствием подвига под Урал фундамента Камско-Башкирского мегасвода ВЕП. Подвиг происходил в палеозойское время [5] и не исключено, что возобновился в новейшее время. Вследствие этого, можно предположить, что верхняя часть земной коры Среднего и примыкающих к нему частей Северного и Южного Урала находятся в условиях

относительного субмеридионального растяжения и субширотного сжатия [6,7]. Признаком такого характера взаимодействия Камско-Башкирского мегасвода ВЕП и Урала является приуроченность подавляющего большинства эпицентров Уральских ощутимых землетрясений к пограничной зоне этих геолого-тектонических образований (рис.1).

Анализ аномального наблюдаемого магнитного поля позволяет предположить, что фундамент ВЕП подвинут под западную часть палеозойского Уральского орогена (под Западно-Уральскую область складчатости и надвигов и Центрально-Уральское поднятие) на 25-50 км. Граница между этими структурами видна в наблюдаемом аномальном магнитном поле в виде границы между аномалиями субширотного северо-восточного и северо-западного направлений, образованными породами фундамента ВЕП и субмеридиональными аномалиями Урала. Особенность пространственного расположения магнитных аномалий в пределах Волго-Камского выступа ВЕП позволяет предположить здесь радиальную структуру с центром в районе города Верещагино Пермского края. В центре этой структуры в районе села Б.Соснова 01.07.1908 г. было отмечено локальное землетрясение, магнитуда которого оценивается как порядка 2,5 [8]. Не исключено, что это событие как то связано с Тунгусским явлением. Радиальные аномалии, расходящиеся от этого центра, соответствуют сейсмичным зонам: - Добрянско-Кизеловской, Пермско-Чусовской и Средне-Уральской. Эпицентры сильных событий с магнитудой более 4,0 располагаются или тяготеют к положительным аномалиям, предположительно образованным основными и ультраосновными интрузиями или иными магнитными телами в фундаменте ВЕП. При этом эпицентры наиболее сильных Уральских сейсмических событий – Билимбаевского 1914 года, магнитуда которого оценивается как 5,0, Серебрянского 1847 года, магнитуда которого оценивается как порядка 4,5, и, возможно события 1798 года, магнитуда которого оценивается как 5,3 [8] приурочены к участкам сочленения положительных аномалий этой структуры ВЕП (Кунгурской и Пермско-Чусовской) с субмеридиональными аномалиями зоны Главного Уральского глубинного разлома. Особенностью этих аномалий и образующих их объектов в фундаменте ВЕП, является то, что они имеют наиболее широтное и, соответственно, наиболее ортогональное к Уралу направление из всех радиальных аномалий Верещагинской структуры. То есть, эти структуры практически под прямым углом взаимодействуют с субмеридиональными Уральскими структурами. Возможно, поэтому в узлах их взаимодействия наблюдаются наиболее сильные сейсмические явления.

В аномальном гравитационном поле эпицентры наиболее сильных сейсмических событий приурочены к западной границе (зоне повышенных горизонтальных градиентов) положительной интенсивной субмеридиональной аномалии (Уральскому супермаксимуму) соответствующей полосе развития интрузивных пород основного и ультраосновного состава Платиноносного пояса Тагильского мегасинклинария. Вышеупомянутая западная граница данной аномалии соответствует зоне омоложенного палеозойского Главного Уральского глубинного разлома (ГУГРа). Можно предположить, что имеющее вид гигантской дайки, пронизывающей земную кору от мантии до дневной поверхности [9], тело Платиноносного пояса (зоны палеоспрединга земной коры по Каретину Ю.С. [10]) сыграло роль преграды, препятствующей продвижению на восток фундамента ВЕП. В месте, где эта преграда деформирована и нарушена (передавлена, растянута) располагался эпицентр самого сильного на Урале за период инструментальных сейсмологических наблюдений Билимбаевского землетрясения 17.08.1914 г. Он приурочен к пережиму этой аномалии. В палеозойских геолого-тектонических структурах ему соответствует сужение области Центрально-Уральского поднятия и сужение (почти пережим) Тагило-Магнитогоского прогиба. Этот узел, который можно назвать Билимбаевским, располагается непосредственно к западу от крупного тектонического узла, образованного сближением, сочленением и пересечением ряда крупных разломов и зон нарушения сплошности земной коры – субмеридионального Главного Уральского глубинного разлома, разломов Чусовско-Кизеловской зоны надвигов, оси Чусовско-Исетской новейшей секущей сквозной структуры, имеющей запад-северо-западное направление. Непосредственно к востоку от этого узла располагается Верх-

Исетский гранитоидный батолит, предположительно играющий роль упора, создающего дополнительные напряжения в земной коре. Возможно, Билимбаевский тектонический узел соответствует участку земной коры центральной части Уральского региона, где действуют наиболее сильные тектонические напряжения. В морфологии вершинной поверхности ему соответствует депрессия, что свидетельствует о сильной роли растягивающих субмеридиональных тектонических напряжений.

Два других подобных по характеру проявления в палеозойских геолого-тектонических структурах узла располагается в районе Нязепетровска и В.Уфалея Челябинской области в 150 км к югу от Билимбаевского узла. В аномальном наблюдаемом магнитном поле они приурочены к узлу сочленения южной части Кунгурской аномалии ВЕП и ГУГРа. В аномальном гравитационном поле он соответствует области пережима положительной аномалии, но не такому сильному как в Билимбаевском узле. Возникновения очагов ощутимых землетрясений в данных узлах за последние 250 лет не отмечалось, но нельзя исключать возможности возникновения в них в будущем очагов землетрясений, подобных Билимбаевскому [11]. Вышеупомянутые узлы с севера и юга ограничивают Нижне-Сергинскую дугу надвигов, охватывающую с запада участок Уральского орогена, названный в работах [7,12] Центрально-Уральским пережимом.

В 60-80 км к югу от В.Уфалейского узла располагается Златоуст-Карабаш-Миасский сейсмичный узел, приуроченный к южному замыканию Уральского гравитационного супермаксимума. В пределах узла возникали очаги землетрясений с магнитудой 2,7-4,0 [6]. Тектоническая позиция этого узла в палеозойских геолого-тектонических структурах исключительно схожа с Билимбаевским. Здесь до минимума (до 3-5 км) сужается Тагило-Магнитогорский прогиб (наблюдается почти его пережим). Здесь сближаются и сходятся ГУГР, Серовско-Маукский и Сугомакско-Кацбахский разлом, ограничивающий с востока Магнитогорский мегасинклиорий. Участок земной коры здесь зажат между Тураташским выступом древних пород Башкирского антиклинория и гранитоидным Челябинским интрузивным массивом. Эта особенность выражена и в морфологии наблюдаемого аномального магнитного поля. Следовательно, нельзя исключать возможности возникновения в этом узле более сильных землетрясений подобных Билимбаевскому с магнитудой порядка 5,0.

ЛИТЕРАТУРА

1. Белоконь Т.В., Горбачев В.И., Балашева М.М. Строение и нефтегазоносность рифейско-вендских отложений востока Русской платформы. Пермь, 2001, 106 с.
2. Соболев И.Д., Автонеев С.В., Белковская Р.П. и др. Тектоническая карта Урала масштаба 1:1000 000. Объяснительная записка, Свердловск, 1983, 168 с.
3. Кашубин С.Н., Дружинин В.С., Гуляев А.Н. и др. Сейсмичность и сейсмическое районирование Уральского региона. Екатеринбург, УрО РАН, 2001, 124 с.
4. Глубинное строение слабосейсмичных районов СССР. Ответственный редактор И.Л. Нерсесов, М., Наука, 1987, 237 с.
5. Пучков В.Н. Структура и геодинамика Уральского орогена // Глубинное строение и развитие Урала, материалы научно-производственной конференции, посвященной 50-летию Баженовской геофизической экспедиции, Екатеринбург, 1996, с.15-39.
6. Гуляев А.Н. Схема сеймотектоники Среднего и прилегающих частей Северного и Южного Урала // Экология северных территорий России. Проблемы, прогноз ситуации, пути развития, решения. Материалы Международной конференции, Архангельск, 2002, С.24 – 29.
7. Копп М.Л. Мобилистическая неотектоника платформ Юго-Восточной Европы, труды, вып. 552, М., Наука, 2005, 339 с.
8. Степанов В.В., Годзиковская А.А., Ломакин В.С. и др. Землетрясения Урала и сильнейшие землетрясения прилегающих территорий Западной Сибири и Восточно-Европейской платформы, ЦСГНЭО, Москва, 2002, 135 с.
9. Геология СССР, том XII, часть 1, книга 2, М., Недра, 1969, 304 с.

10. Каретин Ю.С. Геология и вулканические формации района Уральской сверхглубокой скважины СГ-4, Екатеринбург, 2000, 272 с.
11. Гуляев А.Н. О возможном механизме Уральских землетрясений //Материалы конференции «Глубинное строение, геодинамика, тепловое поле Земли, интерпретация геофизических полей». Четвертые научные чтения памяти Ю.П.Булашевича, Екатеринбург, 2007, С.34-38.
12. Копп М.Л. Новейшие деформации Южного Урала и Мугоджар и их вероятное происхождение, Геотектоника, 2005, №5, С.36 -61.

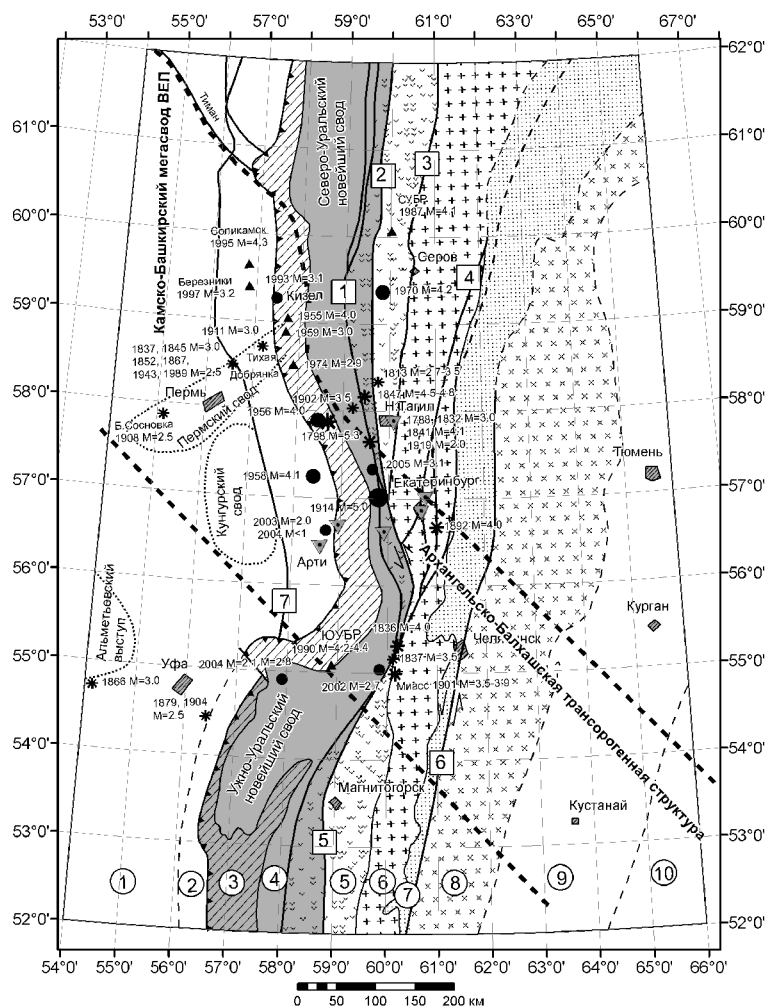


Рис.1 Сейсмоструктурная схема центральной части Уральского региона.

Условные обозначения:
 Цифрами в кружках обозначены наиболее крупные палеозойские геолого-тектонические подразделения Урала по [7]: 1-Восточно-Европейская платформа, 2-Предуральский прогиб, 3-Западно-Уральская зона складчатости и надвигов, 4-Центрально-Уральское поднятие, 5-Тагило-Магнитогорский прогиб, 6-Восточно-Уральское поднятие, 7-Восточно-Уральский прогиб, 8-Зауральское поднятие, 9-Тюменско-Кустанайский прогиб, 10-Кушмуркское поднятие.

Цифрами в квадратах обозначены наиболее крупные разломы: 1-Главный Уральский глубинный, 2-Туринский, 3-Серовско-Маукский, 4-Мурзинский, 5-Магнитогорский, 6-Челябинский, 7-Красноуфимский.

Серой заливкой показана наиболее приподнятая часть новейшего Уральского орогена (область Уральского кряжа).

Звездочками показаны эпицентры «исторических» землетрясений,

данные о которых содержатся в архивных материалах. Размер звездочек пропорционален магнитуде событий изменяющейся в пределах от 2,5 до 5,3.

Черными кружками показаны эпицентры «инструментальных» землетрясений, зарегистрированных сейсмологическими станциями. Диаметр кружка пропорционален магнитуде, которая изменяется от 2,5 до 5,0.

Черными треугольниками вершиной вверх показаны эпицентры сильных горных ударов и природно-техногенных землетрясений на горно-рудных предприятиях.

Цифрами возле эпицентров обозначены года событий и их магнитуда.

Серыми треугольниками, вершиной вниз показаны сейсмологические станции.

Жирными пунктирными линиями показаны контуры Архангельско-Балхашской трансорогенной структуры.
