

*К.М. Мирзоев, Н.С. Гатиятуллин, Е.А. Тарасов, В.П. Степанов, Р.Н. Гатиятуллин,  
М.Х. Рахматуллин, В.А. Кожевников*

*Татарское геологоразведочное управление ОАО «Татнефть», г.Казань  
tgru@tatneft.ru*

## СЕЙСМИЧЕСКАЯ ОПАСНОСТЬ ТЕРРИТОРИИ ТАТАРСТАНА

### Введение

Сейсмические явления на территории Восточно-Европейской платформы (ВЕП) известны с исторических времен. Относительно слабый уровень ее сейсмической активности соответствует концепции динамического влияния на нее удаленных орогенных и складчатых областей (Средняя Азия и Казахстан, Памир, Гиндукуш, Закавказье, Балканы), где сейсмические процессы протекают более интенсивно. Данная концепция основывается на идее взаимодействия оконтуривающих складчатых орогенных областей и самой платформы как единой динамической системы, развивающейся в пространстве и во времени (Шукин, 1996).

Территория Татарстана расположена в центральной части ВЕП, и характер ее сейсмических проявлений в целом является типичным для всего региона. Здесь происходят и регистрируются три типа землетрясений – тектонические, карстовые и обвальные (оползневые). Из них тектонические землетрясения являются наиболее сильными.

В Новом каталоге сильных землетрясений территории СССР, составленном Институтом Физики Земли РАН, имеется небольшое количество исторических событий на территории Татарстана и прилегающих районов. Это 3 землетрясения в районе г. Казани, произошедшие в 1845, 1865 и 1909 гг., землетрясение в Елабуге в 1851 г. и два в районе г. Альметьевска в 1886 и 1914 гг. Магнитуды их оценены в пределах 3 – 5 (5 – 7 баллов по 12-балльной Международной шкале сейсмической балльности MSK-64, рис. 1). Имеется немало других сведений о землетрясениях на территории Татарстана в прошлом, но они являются отрывочными и неполными, поэтому определить точное местонахождение очагов и силу не представляется возможным.

Особую природу имеют землетрясения территории Ромашкинского месторождения. Добыча нефти начата в 40-х годах и сейсмичность заметно активизировалась в начале 80-х, что связано с увеличением интенсивности добычи нефти, точнее, с закачкой воды в скважины, которая ведется под давлением, превышающим начальные пластовые.

В последние годы, с начала активизации сейсмического процесса (с 1982 г.) на юго-востоке Татарстана произошли 5 – 6 балльные землетрясения в районе Альметьевска (3 толчка в 1986 и 1 – в 1990), одно в р-не Заинска в 1988 и два в р-не Елабуги в 1988. Всего с 1982 по 2003 гг. произошло более 700 землетрясений с энергетическими классами  $K \geq 4$  (магнитуда  $M \geq 0$ ), из них примерно 60 имели интенсивность от 4 до 7 баллов на разных грунтах (Мирзоев и др., 2000, Рис. 1). Повышенная сейсмическая активность на Ромашкинском месторождении является временной и может продолжаться только в случае неконтролируемой интенсивной закачки воды в скважины. Регулируя объемы и скорость закачки воды, сейсмическую активность удастся стабилизировать (Муслимов и др., 1997).

В 1999 г. Институтом физики Земли РАН, совместно с

ведущими геолого-геофизическими организациями (включая ТГРУ ОАО «Татнефть») составлена и утверждена Государством новая нормативная карта сейсмического районирования России М 1:2500000, в соответствии с которой территория Татарстана относится к 5 – 6 балльной зоне сейсмичности (карта категории В) по 12-балльной международной шкале сейсмической балльности для средних грунтов (Общее..., 1999). В 2000 году в Татарстане составлена детальная карта сейсмического районирования М 1:500000, в которой уточнены границы сейсмической балльности и вероятности повторяемости событий (Мирзоев и др., 2001).

Проявления сейсмической балльности на поверхности Земли существенно зависят от инженерно-геологических свойств грунтов, включая уровни грунтовых вод. Для территории Татарстана и других районов Поволжья характерно большое разнообразие грунтовых условий – от скальных пород до заболоченных земель в зоне влияния Куйбышевского водохранилища, на которых балльность от одного и того же землетрясения может изменяться в пределах  $\pm 1$  балл, а в отдельных случаях (на болотах) еще на балл выше.

Территория Татарстана подвержена геодинамической опасности, где карстовые проседания земной поверхности, особенно в проницаемых зонах разломов, приводят к уязвимости объектов от слабых землетрясений. Значительное превышение нормативной балльности возможно в зонах активных карстовых проявлений, где здания и сооружения утрачивают свою прочность и становятся уязвимыми даже от слабых 4 – 5 балльных толчков, которые происходят на Русской плите на порядок чаще, чем максимально возможные.

### 1. Исследования техногенной сейсмичности

Многолетние сейсмологические наблюдения на Ромашкинском месторождении (с 1982 г.) и расчеты показали закономерную связь интенсивности добычи нефти с проявлениями сейсмичности. Откачка жидкости уменьшает внутреннее давление в земной коре, способствует сжатию разломов и трещин, увеличению трения на поверхностях разрывов и, в итоге, уменьшает возможность возникновения землетрясений (Мирзоев, Негматуллаев, 1979). При этом возможны существенные просадки земной поверхности. На Ромашкинском месторождении это обратимые проседания и поднятия земной поверхности с амплитудой до 10 см в год. На отдельных участках в прошлом эти деформации достигали 20 см в год (Мирзоев и др., 2001).

Закачка жидкости в скважины увеличивает внутренние напряжения в земной коре, способствует раскрытию трещин, уменьшению трения на поверхностях, увеличению касательной составляющей действующих сил на плоскостях скольжения, что облегчает возможности подвижек на разрывах и возникновение землетрясений. Число и сила возбужденных землетрясений могут контролироваться и регулироваться объемом и скоростью закачки воды в скважины.

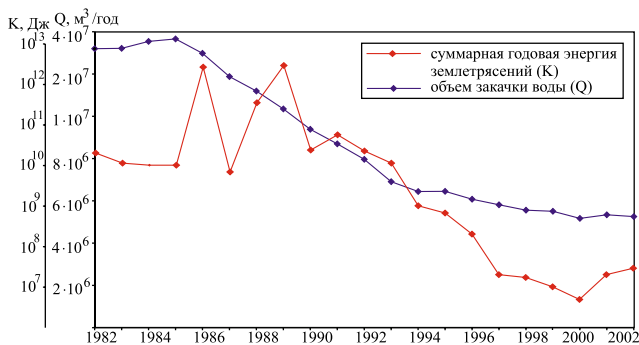


Рис. 2. Суммарная годовая энергия землетрясений и объемы закачки воды на Ромашкинском месторождении нефти (1982–2002).

Тектонические напряжения в земной коре накоплены большие. В ее верхней части на глубинах 1–3 км, где возникает наибольшее число возбужденных землетрясений, напряжения составляют 100–300 атм. И доля сейсмической энергии, как при слабых, так и при сильных землетрясениях (сбросы напряжений) составляют десятые доли процента от накопленной упругой энергии. При сильных землетрясениях охватывается большая область подвижек по разломам, в результате чего высвобождается большая сейсмическая энергия. То есть энергии для возникновения сильных землетрясений в земной коре достаточно, и нарушать установившееся равновесие действующих сил в больших объемах геологической среды небезопасно. Все зависит от масштаба инженерной деятельности человека.

Размеры очагов сильных землетрясений с магнитудами  $M = 6 \div 7$  (8–9 баллов по 12-балльной шкале MSK-64) составляют 20–30 км. И можно создать такие условия ускоренного высвобождения сейсмической энергии в зонах слабой сейсмичности с помощью «ударной» закачки воды в скважины на больших пространствах, соизмеримых с размерами очагов сильных землетрясений, которые могут спровоцировать даже 9-балльные землетрясения в этих районах. В качестве примера можно привести 5-балльную, в прошлом, зону Газлийского месторождения газа, которая сегодня уверенно отнесена к 8-балльной.

Для каждого района существует свой предел интенсивности внедрения человека в естественные процессы, который может устанавливаться экспериментально. Здесь должна действовать основополагающая установка – чем меньше и плавнее ведется нарушение относительного равновесия действующих сил в земной коре, тем слабее и безопаснее отклик возмущенной среды (Муслимов и др., 1997).

В 1997 г. нами было рекомендовано исключить практику «ударной» закачки воды в скважины, когда за короткий срок внедряются большие объемы воды, существенно повышающие естественное пластовое давление (Муслимов и др., 1997). Было рекомендовано закачивать необходимый объем воды в скважины постепенно, без резких перепадов давления и, по возможности, в более длительные сроки.

За последние годы, начиная с 1998 г., уровень сейсмической активности в районе Ромашкинского месторождения

уменьшился в несколько раз. Если раньше с 1986 по 1997 гг. происходило от 100 до 200 землетрясений в год (с учетом пропусков землетрясений с  $K = 5$  по графику повторяемости), то в 1998, 1999 и 2000 гг. на месторождении произошло 35, 22 и 18 слабых землетрясений соответственно. И далее, в 2001–2003 гг. зарегистрировано 15, 14 и 7 слабых землетрясений. На 4 порядка, с  $K = 12$  ( $10^{12}$  Дж) до  $K = 8$  ( $10^8$  Дж), уменьшилась суммарная энергия землетрясений в год с 1982 по 2003 гг. Суммарная энергия землетрясений является наиболее надежным показателем изменения уровня сейсмической активности, и ее устойчивое понижение на протяжении последних 10 лет свидетельствует о техногенной причине активизации сейсмичности на Ромашкинском месторождении нефти (Рис. 2). Управление ходом сейсмического процесса является возможным и реальным. Для исключения возможности провоцирования сильных землетрясений на Ромашкинском месторождении нефти нами ведется непрерывный контроль геодинамических (сейсмологических и деформационных) процессов, цель которого – разработка рекомендаций по уменьшению сейсмической активности в районах инженерной деятельности человека.

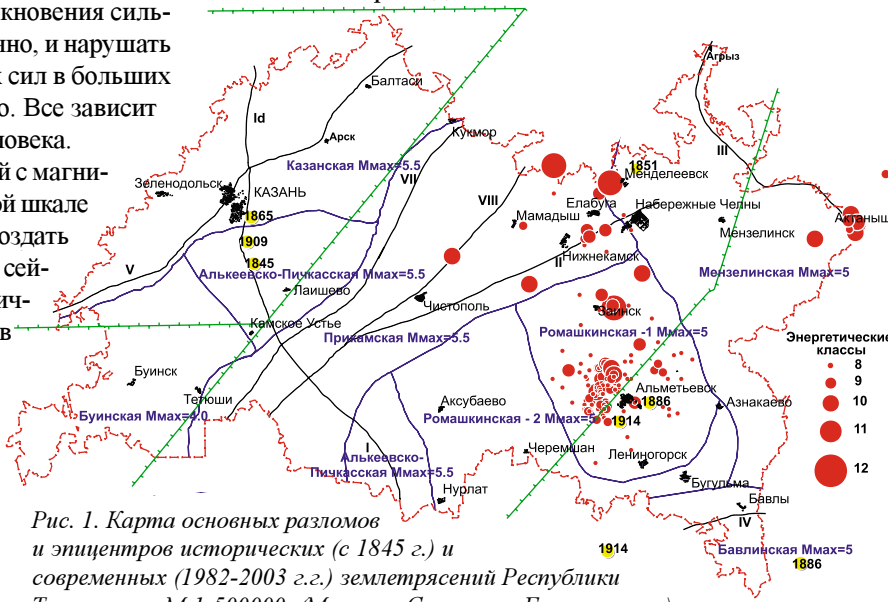


Рис. 1. Карта основных разломов и эпицентров исторических (с 1845 г.) и современных (1982–2003 г.г.) землетрясений Республики Татарстан. М 1:500000. (Мирзоев, Степанов, Гатиятуллин).

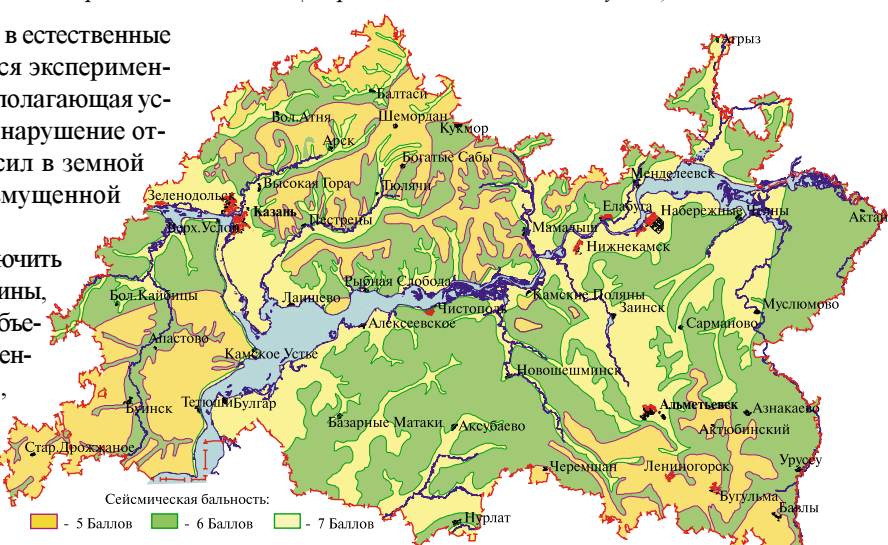


Рис. 3. Карта сейсмического районирования территории Республики Татарстан с учетом инженерно-геологических условий. М 1:500000. Авторы: Мирзоев К.М., Галеев Р.К., Гатиятуллин Р.Н., Мирзоева Т.К.

## 2. Карты детального сейсмического районирования

Нормативные карты сейсмического районирования (Общее..., 1999) уточняются по мере накопления сейсмологических и геолого-геофизических данных примерно через каждые 20 лет. Но для отдельных районов, где ведутся более детальные исследования, составляются внеочередные детальные карты сейсмического районирования в масштабах 1:1000000, 1:500000, 1:100000 и т.д. по мере накопления материалов, которые могут оформляться в качестве республиканских нормативных документов.

Для Татарстана, при поисках нефти получен большой объем геолого-геофизических данных по строению земной коры, пробурено более 10000 скважин структурного бурения, создана сеть сейсмических наблюдений на юго-востоке, которая регистрирует слабые землетрясения, не востребованные при составлении карты общего сейсмического районирования мелкого масштаба. Эти данные позволили выделить наиболее активные группы разломов, объединенные в относительно однородные сейсмогенные зоны с генетически едиными геологическими структурами, имеющими единую или близкую по интенсивности и направлению тектоническую активность (Степанов и др., 1996, Рис. 1). Можно полагать, что такой подход является одним из наиболее приемлемых для построения детальных карт сейсмического районирования в условиях дефицита сейсмических станций и записей землетрясений.

Максимальные возможные землетрясения в сейсмогенных зонах Татарстана определялись по карте зон возникновения очагов землетрясений России (Общее..., 1999). В Татарстане они не превышают магнитуды  $M = 5.5$ , которые возможны в Прикамской зоне разлома. Были построены карты детального сейсмического районирования территории Татарстана  $M 1:500000$  категорий А, В и С с периодами повторяемости сейсмических колебаний 500, 1000 и 5000 лет, которые рассчитывались по уровню (активности) графиков повторяемости для разных магнитуд в разных сейсмогенных зонах. На картах уточнены границы зон балльности и их повторяемости (Мирзоев и др., 2001).

Карты детального сейсмического районирования построены для средних грунтовых условий по сейсмическим свойствам. Для районов, где известны типы грунтов, сейсмическая балльность может быть уточнена в соответствии с таблицей СНиП-II-7-81 (строительство в сейсмических районах). На основе этих карт составлены дополнительные карты сейсмических воздействий территории Татарстана для разных магнитуд от  $M = 4$  до  $M = 5.5$  с шагом через 0,5 магнитуды  $M 1:500000$  в параметрах ускорений, скоростей и длительностей сейсмических колебаний с учетом основных несущих частот (Мирзоев и др., 2001).

В Татарстане Галеевым Р.К. выделено 8 инженерно-геологических комплексов по грунтам, которые обобщены нами в 3 категории грунтов по сейсмическим свойствам с учетом уровня залегания грунтовых вод. На базе карт сейсмического районирования РТ для средних грунтов  $M 1:500000$  категории В и инженерно-геологических условий по сейсмическим свойствам составлена карта приращения и уменьшения сейсмической балльности (Рис. 3). Карта подразделяется на 5, 6 и 7-балльные зоны и является удобной для организаций, проектирующих гражданские объекты.

## 3. Карта сейсмического микрорайонирования г. Казани по категориям грунтов $M 1:25000$

Целью сейсмического микрорайонирования является уточнение сейсмической балльности территорий, установленной по карте общего или детального сейсмического районирования с учетом инженерно-геологических условий в масштабах 1:25000 и крупнее. Литологический состав и физико-механические свойства грунтов, на которых закладываются фундаменты зданий и сооружений, весьма разнообразны. Это вызывает различия в величине сейсмической интенсивности на изучаемом участке по сравнению с балльностью по нормативной карте. Рекомендации по инструментальному сейсмическому микрорайонированию (Рекомендации..., 1971) предназначаются для территорий городов, населенных пунктов и строящихся крупных предприятий, расположенных в районах сейсмичностью 7, 8 и 9 баллов, а также особо ответственных зданий и сооружений в районах сейсмичностью 6 баллов. Для городов, расположенных в районах с сейсмичностью 6 баллов по средним грунтам, допускается уточнять сейсмичность площадки строительства на основании общих инженерно-геологических и гидрогеологических изысканий, используя таблицу типов грунтов без специальных исследований.

Карта сейсмического микрорайонирования г. Казани по инженерно-геологическим условиям  $M 1:25000$  строилась на основе карт инженерно-геологических комплексов, составленных КазТИСИЗом. Территория г. Казани четко подразделяется на три зоны сейсмической интенсивности колебаний – 5, 6 и 7 баллов в зависимости от типов грунтов и уровней грунтовых вод (Рис. 4).

К I категории относятся грунты, которые понижают сейсмичность территории на 1 балл относительно нормативной балльности. Для г. Казани таковыми являются скальные грунты невыветрелые и слабовыветрелые, крупнообломочные грунты плотные маловлажные из карбонатных пород, содержащие до 30 % песчано-глинистого заполнителя. Такие грунты слабо распространены на территории г. Казани. Грунты I категории отнесены к зоне 5-балльной сейсмичности. Зона 5 баллов на карте рис. 4 занимает небольшие территории. Они распространяются, в основном, в восточной, более холмистой части города Казани, где породы скального типа выходят на поверхность. Встречаются небольшие площадки пород такого же типа и в средней части Казани. Уровни грунтовых вод в этих породах, как правило, залегают глубже 10 м, что способствует понижению сейсмической балльности относительно нормативной на 1 балл.

Зона 6 баллов занимает значительную часть г. Казани. Это, в основном, территория, удаленная от крупных водоемов, где уровни грунтовых вод расположены в пределах 5 – 10 м от поверхности земли. Ко 2 категории грунтов по сейсмическим свойствам отнесены породы типа маловлажных плотных песчаных комплексов с коэффициентами пористости  $e < 0,6$  и глинистых комплексов с  $e < 0,9$ . На грунтах 2 категории сейсмическая балльность остается соответствующей балльности по нормативной карте сейсмического районирования.

Зона 7 баллов занимает немалую часть территории г. Казани. Это, как правило, прибрежные территории у водоемов, где уровни грунтовых вод залегают выше 5 м. К 7-балльным зонам отнесены территории с грунтами 3 категории по сейсмическим свойствам, которыми являются

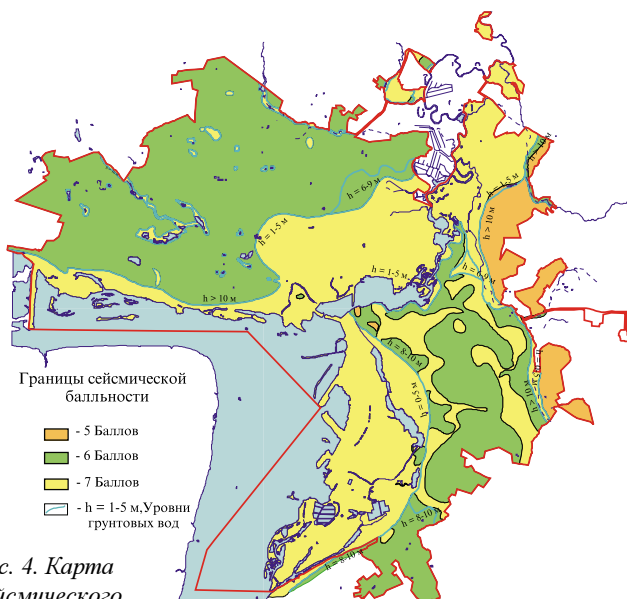


Рис. 4. Карта сейсмического микрорайонирования территории г.Казани по инженерно-геологическим условиям. М 1:25000 (Мирзоев, Галеев).

породы типа влажных песчаных комплексов с коэффициентами водонасыщенности  $Sr > 0,5$ , а также типа рыхлых песчаных комплексов с коэффициентами пористости  $e > 0,75$ . К этой же 3 категории грунтов отнесены техногенные комплексы г. Казани с аналогичными характеристиками влажности и пористости, глинистые комплексы с коэффициентами текучести  $h \geq 0,5$  и пористости  $e \geq 0,9$ , просадочные комплексы с относительной просадочностью  $Es1 = 0,01$ , биогенные комплексы с содержанием органических веществ  $Lo > 10$  и показателем текучести  $h \geq 0,5$ . К районам 7-балльной сейсмичности по грунтовым условиям отнесены также участки, занятые овражно-балочными системами. На грунтах 3 категории сейсмическая балльность увеличивается на 1 балл относительно средних грунтов.

### Заключение

Как видно из проведенных исследований, сейсмическая активность территории Татарстана в целом проявляется слабо. Под контролем находится техногенная сейсмичность территории Ромашкинского месторождения нефти на юго-востоке Татарстана, где количество землетрясений уменьшено примерно в 10 раз и суммарная годовая энергия землетрясений понижена на 4 порядка.

Однако, активные карстовые процессы на территории республики, способствующие неравномерным просадочным явлениям и потере первоначальной прочности объектов, являются существенным дополнительным фактором повышения их уязвимости. Объекты, потерявшие прочность, могут быть разрушены до 8 – 9-балльного эффекта даже от слабых 4 – 5 балльных сотрясений земной поверхности, которые происходят значительно чаще (примерно в 10 раз), чем максимально возможные 6 – 7 балльные. Поэтому слабая сейсмичность территории Татарстана является опасной и требует своего изучения.

Карты карстовой опасности территории Татарстана в масштабе 1:500000 и г. Казани в масштабе 1:25000 даются в настоящем сборнике (Мирзоев, Степанов и др.). В соответствии с этими картами, вся территория республики относится к «весьма опасной» категории карстовой опасности. Поэтому сейсмическая опасность территории Татарстана является комплексной.

Вышеизложенное определяет степень должной востребованности карт сейсмической и карстовой опасности территории Республики Татарстан, включая ее столицу, которые пока остаются не оформленными в качестве республиканских нормативных документов заинтересованными и ответственными государственными ведомствами и не используются в практике обеспечения безопасного строительства.

### Литература

- Мирзоев К.М., Гатиятуллин Н.С., Степанов В.П., Гатиятуллин Р.Н. Карты детального сейсмического районирования территории Республики Татарстан масштаба 1:500000. *Современная геодинамика, глубинное строение и сейсмичность платформенных территорий и сопредельных регионов*. Мат. конф. Воронеж: 2001. 123-126.
- Мирзоев К.М., Гатиятуллин Н.С., Степанов В.П., Кашуркин П.И., Гатиятуллин Р.Н. Активные разломы земной коры Ромашкинского месторождения нефти по геолого-геофизическим и геодезическим данным. (*Современная... - см. выше*). 2001. 126-129.
- Мирзоев К.М., Негматуллаев С.Х. *Возбуждение сейсмичности в зонах водоохранилищ на примере района Нурекской ГЭС. Сов.-Амер. раб. по прогнозу землетрясений*. т.2., кн.1. Душанбе: 1979. 7-19.
- Мирзоев К.М., Рахматуллин М.Х., Гатиятуллин Р.Н. Татарстан (с древнейших времен по 1994 г.). *Землетрясения Северной Евразии в 1994 г.* М. 2000. 44-56.
- Муслимов Р.Х., Мирзоев К.М., Гатиятуллин Н.С., Назипов А.К., Тарасов Е.А. Целевая программа сейсмологических исследований территории Татарстана. *Мониторинг*, №3, 1997. 17-21.
- Общее сейсмическое районирование территории Российской Федерации, ОСР-97, А, В, С. *Объяснит. записка. ОИФЗ РАН*. М. 1999.
- Степанов В.П., Мирзоев К.М., Муслимов Р.Х., Гатиятуллин Н.С., Тарасов Е.А. Геолого-геофизическое обоснование сейсмогенных зон Татарстана. *Недра Поволжья и Прикаспия*. Вып. 13, Саратов. 1996. 67-73.
- Рекомендации по сейсмическому микрорайонированию*. Изд. лит-ры по стр-ву, ИФЗ РАН. М. 1971. 66.
- Щукин Ю.К. Глубинная сеймотектоника Северной Евразии. *Недра Поволжья и Прикаспия*. Вып. 13. Саратов. 1996. 6-10.

### И.А. Резанов

## ЭВОЛЮЦИЯ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ О ЗЕМНОЙ КОРЕ

Отв. ред. И.Н. Томсон. М.: Наука, 2002. - 299 с

Дается история взглядов на состав и происхождение коры Земли - становление геологической, гравиметрической и сейсмической моделей. Рассматривается история изучения структуры и вещественного состава коры континентов и океанов геофизическими и геохимическими методами. Обсуждаются дискуссионные проблемы происхождения, эволюции и современного состояния различных типов коры в свете существующих геотектонических концепций. Рассмотрены условия образования первичной коры Земли, ее эволюция, причины возникновения тонкой океанической коры. Предложена химическая модель современной коры. Для геологов, геофизиков и геохимиков, интересующихся проблемой эволюции земной коры.

ISBN 5-02-013140-7