

К.М. Мирзоев, В.П. Степанов, Н.С. Гатиятуллин, Е.А. Тарасов, Р.Н. Гатиятуллин,
П.И. Кашуркин, В.А. Кожевников

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

ГЛУБИННЫЙ КАРСТ И СОВРЕМЕННЫЕ ДВИЖЕНИЯ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ В ТАТАРСТАНЕ

1. Введение

Территория Татарстана расположена в центре Восточно-Европейской платформы (ВЕП), где тектоническая активность невысокая. Это связано с относительно небольшими современными тектоническими поднятиями земной коры, достигающими 1–4 мм в год в разных районах по данным геодезических наблюдений Роскартографии России.

На территории Татарстана и соседних республик наблюдается исключительно высокая скорость проседаний земной поверхности, которые наиболее активны вдоль русел крупных рек Волги и Камы. Прежде всего, это карстовые и просадочные явления в земной коре, заметно активизировавшиеся после создания Куйбышевского водохранилища. В этих районах наблюдаются опускания до 6 мм/год, которые практически поглощают современные тектонические поднятия. Краткосрочные (2000 – 2001 гг.) геодезические измерения в г. Казани показывают, что в местах пересечения профилей с разломами относительные проседания земной поверхности достигают 30 мм в год на базе 1 км. Эти проседания и провалы связаны с растворением доломитов и сульфатов, мощность которых достигает 1,5 км, с колебаниями уровня грунтовых вод, подземными речными потоками вдоль русел рек и водохранилищ. Активные проседания способствуют разрушению зданий и сооружений.

В восточной части г. Казани на отдельных участках заметно меняется рельеф местности в течение 1–2 лет. Сегодня более 50% зданий и сооружений, включая новые, потеряли и теряют свою прочность в результате просадок и получения сквозных трещин. В соответствии со СНиП 22-01-95 (1996) «Геофизика опасных природных процессов», территория Казани относится к категории «Весьма опасная». Как в Татарстане, так и в других областях отсутствуют нормативные картографические документы по карстовой опасности, особенно глубинной, в связи с чем новые сооружения продолжают строиться без учета активных геологических процессов и становятся уязвимыми даже от относительно слабых возможных здесь землетрясений.

Не создана сеть постоянно действующих геодезических наблюдений

Рис. 2. Карта районирования глубин залегания карстующихся пород и поверхностного проявления карстовых процессов территории Республики Татарстан по данным структурного бурения и полевых исследований. М 1:500000. (Степанов, Мирзоев). Зоны кровли залегания карстующихся пород

на глубинах: 1) 0 - 50 м; 2) 51 - 100 м; 3) 101 - 200 м; 4) 201-300 м; 5) более 300 м.

6 - Участки отсутствия на глубинах до 300 м кровли карстующихся пород; 7 - Участки поверхностных проявлений карстовых и суффозинных процессов с залеганием карстующихся пород на гл. более 100 м (по данным Югина В.В.).

ний на территории г. Казани, где строится метро, и в других крупных городах Поволжья, за исключением Ромашкинского месторождения нефти, которые выявляют современные контрастные и разрушительные движения земной поверхности, особенно в зонах разломов и трещин.

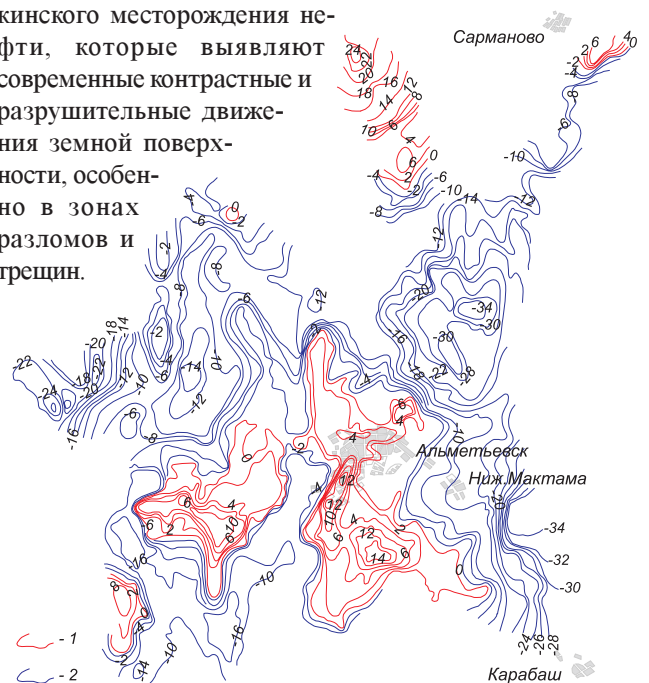
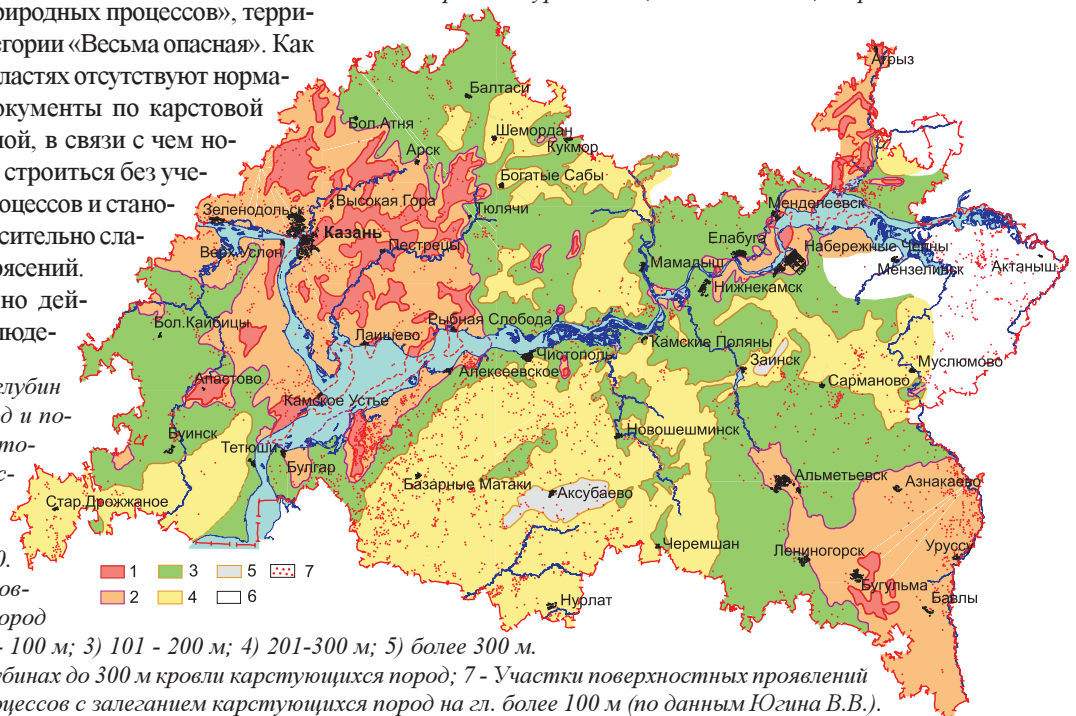


Рис. 1. Карта площадного распределения величин вертикальных движений земной поверхности на Ромашкинском геодинамическом полигоне, построенная с учетом разломной тектоники, цикл 3-2 (1993-1992 г.г.). М 1:100000. 1 - изолинии положительных величин; 2 - изолинии отрицательных величин. Авторы: Кашуркин П.И., Степанов В.П., Мирзоев К.М.



2. Геодезические исследования

В 1990 – 1991 гг. на Ромашкинском месторождении создана региональная высотная геодезическая сеть со средним расстоянием между пунктами наблюдений около 1 км. Общая конфигурация сети состоит из 6 региональных и 2 локальных профилей общей длиной 550 км. Нивелирные наблюдения ведутся с частотой 1 раз в год, по программе нивелирования II класса повышенной точности за счет применения элементов измерений нивелирования I класса. Средняя квадратичная случайная погрешность составляет на 1 км хода $\pm 0,55$ мм, и средняя систематическая ошибка $\pm 0,17$ мм. Графики вертикальных движений земной поверхности, построенные по всем профилям и парным сочетаниям последующих циклов наблюдений с 1990 по 2003 гг., показывают высокие амплитуды обратимых вертикальных движений в зонах отдельных разломов (в последние годы они стабилизировались в пределах от 1 до 10 см/год), что позволяет выделить наиболее активные и значимые из них.

Точки перегибов на профилях сохраняют свое местоположение на всех сочетаниях и совпадают в пространстве с большинством из известных разломов, выделенных по комплексу геолого-геофизических и сейсмологических данных трассирования групповых землетрясений. Четко выделяются большие и малые подвижные блоки земной коры на поверхности. Имеются устойчивые точки перегибов как с малыми амплитудами обратимых движений, так и с большими, что свидетельствует о динамичности отдельных разломов (Мирзоев и др., 2001).

По данным геодезических измерений на 8 профилях построены карты распределения площадных деформаций земной поверхности Ромашкинского месторождения (Рис. 1). На рис. 1 показаны активные разломы земной коры, на которых происходят наиболее контрастные скачкообразные движения земной поверхности, обнаруживаемые на геодезических профилях в зонах пересечения с этими разломами. Зоны устойчивы во времени. Контрастные движения в местах пересечения с разломами позволяют экстраполировать величину деформации по всей протяженности разломов, и таким образом, использовать разломы как дополнительные геодезические профили, количество которых увеличивается многократно. В итоге, карта площадной деформации получается детальной и надежной.

В настоящее время составлен проект расширения высотной геодезической сети Ромашкинского геодинимического полигона. Создается плановая геодезическая сеть, которая обеспечит измерения горизонтальных движений земной поверхности с помощью спутниковой системы съемки и передачи информации. Разработан проект планово-высотной геодезической сети Казанского геодинимического полигона (площадь 500 км²), протяженностью около 400 км. По профилям, проходящим по центру города, где зафиксированы наиболее интенсивные вертикальные движения, расстояния между реперами составляет от 100 до 200 м. Созданы 22 замкнутых нивелирных контура с периметрами от 13 до 29 км. Расчеты показали, что среднеквадратичные ошибки отметок в неплотных местах сети составляет около 1,8 мм и соответствуют допустимым значениям.

В 2003 г. создана первая очередь региональной высотной сети Казанского геодинимического полигона. Для выявления величин горизонтальных движений запроектирована и создается высокоточная плановая региональная

сеть. Она включает в себя 50 пунктов, часть из которых совмещается с пунктами высотной сети. Наблюдения обеспечиваются двухчастотными спутниковыми GPS-приемниками типа 4000SSE, 4000Ssi с использованием равноточных им геодезических спутниковых антенн.

3. Глубинное залегание и поверхностные проявления карстовых процессов. М 1:500000

Для выявления и определения геометрии карстовых зон, глубины залегания верхней и нижней границ и степени закарстованности были изучены геологические журналы, литологические колонки и материалы ГИС. Отбивалась кровля закарстованных зон и вычислялись глубины их залегания, по которым строились карты изогипс. Были использованы материалы более 10000 скважин структурного бурения Татарстана. Из них 2527 скважин со следами карстования в разрезе вынесены на карту. Эти данные свидетельствуют о связи карстовых зон в нижнепермских отложениях с зонами разломов и дизъюнктивных нарушений фундамента, нижней и средней части осадочного чехла. Тем более, что разломы фундамента прослеживаются вверх по разрезу в осадочном чехле в виде зон тектонической трещиноватости (Степанов и др., 1995).

Структурные скважины, вскрывшие закарстованные породы P_1 , нанесены на топооснову М 1:500000 и сопоставлены с картой разломов земной коры, составленной по данным аэромагнитной съемки (Степанов и др., 1995). Большинство скважин совпали с зонами разломов земной коры и свидетельствуют о том, что образование карстовых форм в сульфатно-карбонатной толще P_1 происходит в результате активизации карстообразующей деятельности подземных вод в зонах разрывной тектоники на контактах с водоупорами (Зевахин, 1999). По выявленным глубинам до верхней границы закарстованных пород с учетом простираия разломов земной коры составлена карта глубин залегания верхней границы закарстованных пород P_1 (Рис. 2).

Аномальные закарстованные участки оконтурены изогипсами сечением в 10 м. Сопоставление карт распределения изогипс, разломов и линеаментов позволило установить их связь и выявить закономерность расположения малых глубин залегания закарстованных пород близко к дневной поверхности в линеаментных зонах и более повышенных – к участкам пересечения бурением разломов кристаллического фундамента. Наиболее отчетливые полосовые аномальные зоны закарстованных пород прослеживаются на участке междуречья Вятки и Камы и др. Глубина залегания верхней границы закарстованных пород изменяется от 0 до 375 м. Выделяются Казанский, Мамадышско-Аксубаевский, Альметьевско-Бугульминский, Набережно-Челнинско-Агрызский региональные участки закарстованных пород. Карстовым провалам на поверхности и местоположению аномальных структурных скважин на глубине соответствуют разломы земной коры, которые в виде зон трещиноватости прослеживаются в верхнюю часть разреза. Это подтверждают исследования, проведенные в других регионах, например, на участках классического развития карста в Западной Боснии, где карстовые формы «вытянуты вдоль линий разломов» (Бондарчук, 1949).

Линейно вытянутые зоны карстовых провалов наблюдаются даже в районах, где глубины кровли карстующихся пород находятся на уровне 200 – 300 м от поверхности

земли, что, несомненно, связано с протяженными линиями углубленных разломов, вдоль которых карстовые процессы происходят более интенсивно.

4. Карта кровли карстующихся пород и разломов земной коры г. Казани. М 1:25000

Карстовые проявления в верхне- и нижнепермских образованиях, развитых на территории Среднего Поволжья и, в частности, в г.Казани, известны давно (Тихвинский, 1959).

Они приводятся в материалах бурения структурных и инженерно-геологических скважин. Карстовые образования в сульфатно-карбонатной толще нижней перми развиваются в гипсах и ангидритах. Трещины обычно выполнены доломитово-глинистым веществом, гипсами и расположены спорадически в различных направлениях. На отдельных участках этих трещин настолько много, что они, разбивая породу в многочисленные отдельности, связанные между собой с помощью заполненных веществ, придают породе брекчиевидную структуру. Эти трещины в большинстве случаев, (Юсупов, 1960), «в своем происхождении связаны с процессом гидратации ангидритов».

Общая мощность сульфатной толщи сильно варьирует. Такое резкое сокращение ее в одном месте – 9,5 м (скв.3, Аракчино, Казань) и сильное увеличение в другом – 103,9 м (скв.4, правый берег р. Волги, Верхне-Услонский район) «несомненно связано с эрозией четвертичного периода – периода образования долины р. Волги» (Юсупов, 1960).

Особенно сильные разрушения пород наблюдаются в скв. 3 (Аракчино), скв.1 (В.Услон), скв.2 (устье р. Казанки), в скв.7 (б.о. Маркиз), скв.9 (под Казанским кремлем), скв.5 (В.Услон-Студенец). Наибольшая сохранность сульфатно-карбонатных пород (103,9 м) наблюдается в скв.4 (Печищи). Однако и здесь в зоне контакта сакмарских образований с казанскими обнаруживается частичное разрушение пород (около 3,5 м). В некоторых местах в верхней части толщи обнаруживаются довольно большие пустоты, достигающие 2,5 – 3 м. На некоторых участках в зоне контакта толщи с нижнеказанскими отложениями породы настолько сильно разрушены, перемешаны и перебиты, что невозможно отнести их к какому-либо геологическому возрасту (Юсупов, 1960). В результате сильного выщелачивания сульфатно-карбонатных пород создались благоприятные условия для обрушения их кровли и образования значительных карстовых опусканий.

В пределах Казани и прилегающих районов пробурено 53 структурные скважины глубиной свыше 300 м, а также заложено большое количество инженерно-геологических скважин, вскрывших верхнюю границу карстопроявлений.

Казанской геофизической экспедицией в западной части Татарстана и прилегающих районах в 1959 г. проведена детальная наземная магнитная съемка с точностью $\pm 13,64$ нТл.

Сечение изодинам может быть принято через 34,2 нТл. Составлена карта изодинам вертикальной составляющей геомагнитного поля М 1:100 000 сечением через 50 нТл., использованная для составления карты разломов земной коры территории г.Казани 1:25000. Предварительно она была подвергнута компьютерной обработке с целью составления по ней карт-трансформант (Степанов и др., 1995).

Протрассированные по различным картам-трансформантам оси положительных магнитных аномалий, соответствующие разломам, были совмещены на единой основе,

создавая каркас разломной тектоники. При создании каркаса на единую основу М 1:25000 поэтапно наносились оси северо-западного, северо-восточного простираний, затем ортогональные, меридиональные и широтные. Четко проявилась «планетарная трещиноватость» территории г. Казани, на канве которой, по С.С. Шульцу (1973), «тектоника вышивает свои узоры».

При составлении каркаса разломов кольцевые разломы по кольцевым зональностям магнитных аномалий не трассировались. Они проявились спонтанно в результате пересечения глобальной трещиноватости ортогонального и диагонального направлений и создали основные тектонические элементы структурного плана кристаллического фундамента и горизонтов осадочного чехла.

Карта разломов земной коры (Рис. 3) содержит как региональные, так и блокоразделяющие дизъюнктивные нарушения. В пределах Казани выделено 20 зон разломов земной коры, соответствующих по рангу уровням региональных и блоковых. По материалам инженерно-геологического бурения и разломной тектоники составлена карта глубин залегания верхней границы закарстованных пород территории г. Казани (Рис. 4). На карту нанесены данные глубин закарстованных пород 333 скважин. Наиболее близко кровля карстующихся пород прослеживается в районе пос. Дербышки (0,5 – 10,0 м), на набережной у Кремля (3,6 – 11,4 м), на Кремлевском Холме (9,0 – 13,0 м) и др.

Изогипсы закарстованных пород проведены через 10 м. Интервал изолиний, околнуривающий 10 и 20 м, включает в себя глубины менее 10 м, при этом карстующие породы здесь выходят на дневную поверхность. Интервал залегания глубин до 50 м является наиболее карстоопасным для зон с неглубоким заложением уровня грунтовых вод или прямой проницаемости осадков.

Подтверждением разрушительных карстовых процессов на территории г. Казани явилось обследование и оценка остаточной прочности зданий и сооружений. Работа выполнена Казанским архитектурно-строительным университетом. Хотя степень повреждения всех типов сооружений связана со сроками их эксплуатации, сквозным нарушением стен и нарушениям их покрытия подвергаются многие новые здания Казани, что свидетельствует о едином характере просадочных явлений во всех частях города. Степень износа стен 90 % эксплуатируемых зданий оказалась в пределах от 5 до 40 %. Многие строения, особенно в центре, разрушены полностью, большинство имеют трещины и в разной степени потеряли свою несущую способность из-за неравномерной просадки грунтов. Составлен каталог паспортов поврежденных зданий и сооружений, оценена их остаточная прочность, установлен характер и степень повреждения несущих конструкций в связи с активными геологическими процессами. Для полного разрушения зданий, потерявших прочность, достаточно 4- или 5- балльного землетрясения. Поэтому изучение слабой сейсмичности для Татарстана является актуальным.

По каталогу паспортов составлена карта-схема состояния абсолютной разрушенности зданий и сооружений г. Казани в масштабе 1:25000 за период эксплуатации более 100 лет, и карта-схема относительной скорости разрушения объектов, отнесенная к единице времени 1 год. Схема отражает интенсивность геологических процессов в относительных единицах от 0,1 до 10. Проявляется четкая согласованность зон наибольшего разрушения объектов с зонами раз-

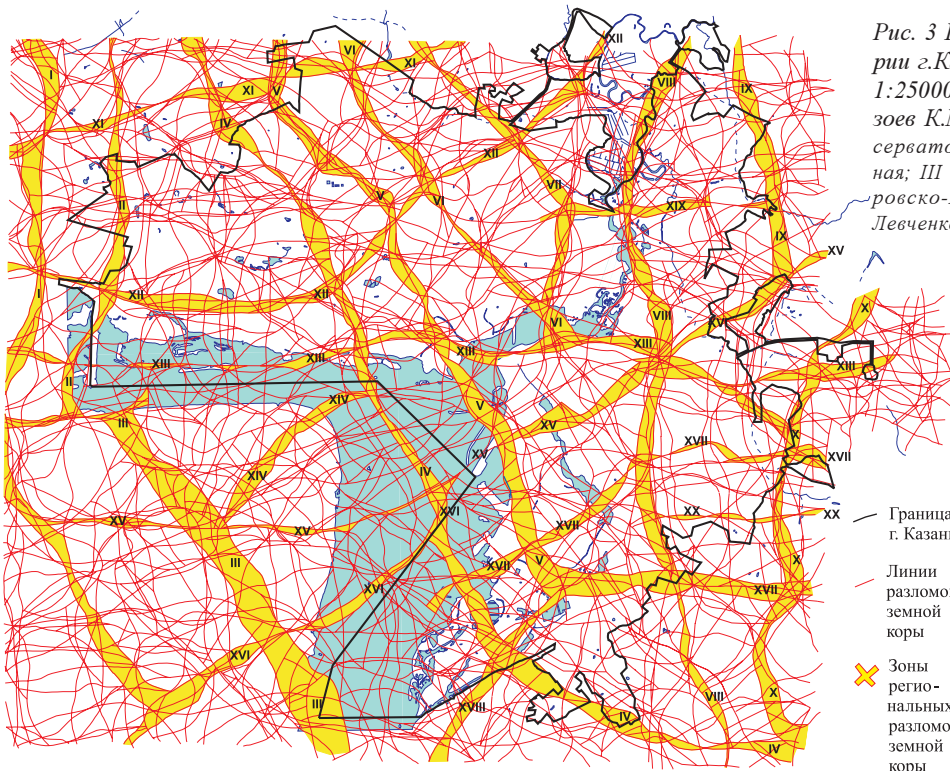


Рис. 3 Карта разломов земной коры территории г.Казани по данным магнитной съемки. М 1:25000. (Степанов В.П., Степанов А.В., Мирзоев К.М.) Зоны разломов земной коры: I - Обсерваторско-Раифская; II - Займищенско-Залесная; III - Ключищенско-Морквашинская; IV - Петровско-Игумновско-Реплерская; V - Крутовско-Левченковско-Ново-Николаевская; VI - Ново-Савиновско-Ново-Караваевская; VII - Сухореченская; VIII - Столбищенско-Ливадийско-Дербышкинская; IX - Константиновско-Березовская; X - Кабанско-Фадеевская; XI - Осиновско-Бобильская; XII - Юдинско-Грабарско-Борисоглебская; XIII - Аракчинско-Кремлевско-Самосыровская; XIV - Верхне-Услонская; XV - Студенецко-Ниже-Кабанско-Клыковская; XVI - Нижне-Услонская; XVII - Ново-Победилдовско-Первомайско-Чимшлянская; XVIII - Старо-Победилдовско-Борисковско-Медянская; XIX - Савиновско-Нагорнинская; XX - Горкинско-Салмачинская.

ломов земной коры. Наиболее карстоопасными являются центральная и северо-восточная части Казани. В районе Кремля глубина верхней границы закарстованных верхнепермских пород изменяется от 5 до 8 м, в районе Дербышек - от 0,5 м до 10 м. На участках сильной закарстованности отмечается расположение мощных разломов земной коры. Эти разломы – Аракчинско-Кремлевско-Самосыровский и Савиновско-Нагорнинский – являются зонами мощных тектонически трещиноватых пород. На Усмановском и Центрально-Казанском участках глубина закарстованных пород изменяется от 86 м до 4 – 8 м. Здесь простираются Аракчин-

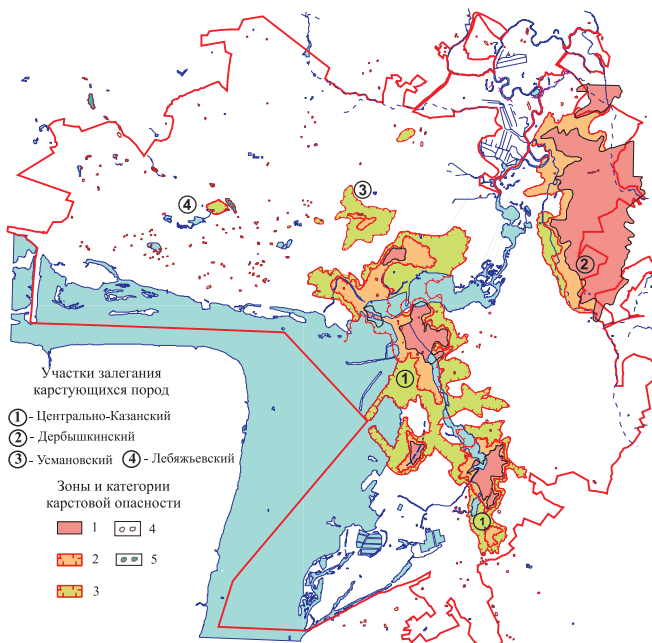


Рис. 4. Карта районирования глубин залегания карстующихся пород и поверхностного проявления карстовых процессов территории г. Казани по данным инженерно-геологического бурения и поверхностных наблюдений. М 1:25000. (Мирзоев, Степанов, Югин, Галеев). Зоны кровли залегания карстующихся пород на глубинах: 1 – 0-20 м, 1 категория; 2 – 21-30 м, 2 категория; 3 – 31-50 м, 3 категория; 4 – карстовые и карсто-суффозионные формы; 5 – карстовые озера.

ско-Кремлевско-Самосыровская и другие разломные зоны. В этих местах карстующиеся породы вскрыты большинством скважин, поскольку разломы создали в осадочном чехле мощные толщи тектонической трещиноватости.

5. Заключение

Разработана серия карт поверхностных проявлений карстовых процессов, кровли глубинного залегания карстующихся пород по данным инженерно-геологического и структурного бурения, активных разломов земной коры, абсолютной и относительной разрушенности зданий и сооружений г. Казани М 1:500000 и 1:25000, которые дают оценку геодинамической опасности территории Татарстана. Карты являются основой для составления нормативной документации по обеспечению безопасного строительства объектов от разрушительных геологических процессов. Завершается составление карт карстовой опасности территории РТ М 1:500000 и г. Казани 1:25000. Необходимо упорядочить и представить материалы по геологической опасности в виде республиканской нормативной документации.

Литература

Зевахин А.И. Типизация карстовых систем Билимбаевского района. *Техногенез и экология*. Екатеринбург: УГГА, 1999. 100-103.
 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. *Тр. междунар. мат. конф. Современная геодинамика, глубинное строение и сейсмичность платформенных территорий и сопредельных регионов*. Воронеж. 2001. 126-129.
 Общее сейсмическое районирование территории Российской Федерации, ОСР-97, А. В. С. *Объяснит. записка*. ОИФЗ РАН, М. 1999.
 Степанов В.П., Баранов В.В., Степанов А.В. Геофизическое изучение кристаллического фундамента с нефтепоисковыми целями. *Геонформатика-93*. N3(3). 1995. 64-68.
 Тихвинский И.Н. Карстопоявления в нижнепермских отложениях Татарии. *Татарская нефть*. Альметьевск. N3-4, 1959. 78-81.
 Шульц С.С. *Планетарная трещиноватость*. Изд. ЛГУ. 1973.
 Юсупов Б.М. Тектоника Татарии. *Тр. КФАН СССР. сер. Геол.* Казань: 1960. 91-200.
 Stepanov V.P., Muslimov R.Kh., Mirzoev K.M., Gatiatullin N.S. Geological and tectonic structure of the upper crystalline basement of the Central East European platform and its reflection in the upper sedimentary cover. *"Georesources"*. 6, 2002. Kazan University. 11-15.