

пиров повышенной деформативности и гидравлических демпферов, позволило при строительстве Магистинского виадука обеспечить полное выполнение требований, пред-

*Материалы хранятся в ОАО ЦНИИС. 129329, Москва, ул.Кольская, 1. Тел.: 180-53-27*

являемых нормами к проектированию и строительству внеклассных мостовых сооружений в сейсмических районах.

## ВНУТРЕННЯЯ СТРУКТУРА РАЗЛОМОВ И ЕЕ УЧЕТ ПРИ ИЗЫСКАНИЯХ ПОД СТРОИТЕЛЬСТВО СЕЙСМОСТОЙКИХ СООРУЖЕНИЙ (на примере нового моста через р. Ангару в Иркутске)

*Семинский К.Ж., Гладков А.С., кандидаты геол.-мин. наук, Шерман С.И., проф., д-р геол.-мин. наук, Лунина О.В., Скуденко Т.В., инженеры (Институт земной коры СО РАН)*

Разломы, как известно, имеют повсеместное распространение в земной коре и представляют природные объекты, существенно нарушающие устойчивость геологической среды, что необходимо учитывать при инженерно-геологических изысканиях под строительство сейсмостойких сооружений. Нормативные документы рекомендуют при необходимости проведения строительства на площадках с разломами принимать дополнительные меры к укреплению оснований и усилению конструкций зданий и сооружений [9]. Эффективность этих мер в значительной степени зависит от полноты знания закономерностей проявления разломов в земной коре в целом и конкретного разлома на площадке строительства, в частности. Целью данного исследования было установить, что в соответствии с современными понятиями тектоники представляет в структурном отношении зона крупного тектонического нарушения на примере Верхнеангарского (или в ряде публикаций - Ангарского) разлома, который изучался в связи с необходимостью проектирования нового моста через р. Ангару в Иркутске (рис. 1а).

На недостатки нормативных документов, в т.ч. СНиП, рассматривающих разломы только как плоскости смещений, без учета их влияния на окружающее пространство, обратили серьезное внимание Г.Л.Кофф, О.И.Кабанцев и Р.М.Лобацкая [4]. В частности, ими было рекомендовано уточнить в нормах положения о площадках, неблагоприятных в сейсмическом отношении, а также ввести в нормы положение об ограничении строительства зданий на площадках с тектоническими нарушениями (с.30). Давая характеристику тектонических нарушений, цитируемые авторы акцентировали внимание на ширине разломных зон. Принимая во внимание актуальность поднятых в статье [4] вопросов, авторы возвращаются к его обсуждению на другом уровне и на других примерах.

Вначале следует остановиться на базе понятий, используемой в настоящее время при исследованиях разломных структур. По геологическому словарю разломом является крупная дизъюнктивная дислокация земной коры, распространяющаяся на большую глубину и имеющая значительные длину и ширину (с.166 [1]). Следовательно, разлом - это тело, заполненное переработанными (раздробленными, милонитизированными и т.п.) в результате многократных подвижек горными породами. Его плоский срез обычно называют "зоной разлома". В то же время, наряду с изменениями вещества вокруг формирующегося разлома образуется более крупная по размерам область (по С.И.Шерману с соавторами [11]) - область динамического влияния разлома, в пределах которой проявляются структурные изменения субстрата в виде разнорангового складко- и разломообразования. Поэтому при исследовании дизъюнктивов обычно выявляются и изучаются как собственно разломные зоны (или зоны главного сместителя), в которых происходят наиболее существенные деформации субстрата, так и зоны влияния разлома в пластических деформациях (зона распространения складчатости) или раз-

рывов 2-го, 3-го и т.д. порядков (например, зона разлома в трещиноватости). Последние особенно важно изучать, когда разлом находится на ранней стадии развития, и единый магистральный сместитель (1-го порядка) в его зоне еще не сформировался. В этом случае зона влияния разлома 1-го порядка представляет собой совокупность сравнительно узких разломных зон 2-го и более мелких рангов, разделяющих менее нарушенные блоки горных пород. Для обозначения разноранговых разломов обычно используются термины "глобальный", "генеральный", "региональный", "локальный" разломы, после которых следуют трещины, как самые мелкие, не имеющие видимых смещений, разрывы горных пород [10].

Активизация разломной зоны выражается в криповых (плавных) или сейсмических (дискретных) подвижках по составляющим разрывам, а также разрушению ограниченных ими сравнительно монолитных блоков. Специфика процесса определяется параметрами, характеризующими внешние силы и структурно-вещественное состояние деформируемого субстрата. Наибольшую опасность для народно-хозяйственной деятельности человека представляют разломы, активные в позднем кайнозое. Их главными признаками при отсутствии инструментальных наблюдений за деформациями земной коры являются приуроченность эпицентров землетрясений и смещений позднекайнозойских отложений или даже техногенных сооружений. К менее достоверным, но часто используемым на практике, признакам активных разломов относятся геоморфологические (резкие уступы в рельефе, смещения долин водотоков и т.п.).

Исходя из вышеизложенного, для наиболее эффективного учета влияния разрывов зоны Верхнеангарского разлома на устойчивость геологического фундамента строящихся зданий и сооружений (в т.ч. нового моста) было необходимо: 1) оконтурить зону динамического влияния разлома, 2) определить состояние разрывной сети в ее пределах, 3) установить ранговую соподчиненность составляющих эту сеть разломов и 4) проанализировать приуроченность к ним разрывных деформаций кайнозойских отложений, контрастных форм рельефа и эпицентров редких на платформенной территории землетрясений.

Как показал анализ публикаций по Верхнеангарскому разлому [3, 5-7, 14], сведения о его главных параметрах, специфике проявления на поверхности и степени современной активности имеют противоречивый характер. Причиной сложившейся ситуации, видимо, является то, что до настоящего времени результаты изучения разлома опирались, в основном, на геоморфологические исследования и анализ общей структурной ситуации в регионе, чего явно недостаточно для характеристики тектонического нарушения.

Для выполнения поставленных задач была организована сеть из 243 станций массового замера трещин и разломов в пределах изучаемой территории, включающей наиболее значимый отрезок Верхнеангарского разлома от истока р.Ангары до устья р.Иркут (см.рис.1б). Общее число

измерений разрывных структур составило примерно 18000 штук, среди которых большая часть принадлежит трещинам (50-100 штук на каждой станции) и около 365 замеров – более крупным разрывам (зонам дробления, трещиноватости и расщепления; трещинам со штрихами скольжения и т.п.). Это позволило, несмотря на слабую естественную обнаженность платформенных пород, провести работы в масштабе 1:100000 (а в окрестностях моста – 1:50000), что обеспечило возможность решить поставленные задачи на основе анализа, главным образом, структурно-геологических данных.

Обработка полевого материала проводилась на основе применения стандартных способов выявления разломов, а также с использованием специальных методов анализа трещиноватости [2, 8, 10, 12]. В итоге была составлена схема разломно-блоковой структуры (рис.1б), целенаправленный анализ которой подтверждает существование зоны Верхнеангарского разлома на изучаемой территории и позволяет отнести ее к рангу региональных. В зоне не выявляется единый магистральный сместитель (по крайней мере по берегам водохранилища и р.Ангара), что свидетельствует о ранней стадии развития Верхнеангарского разлома

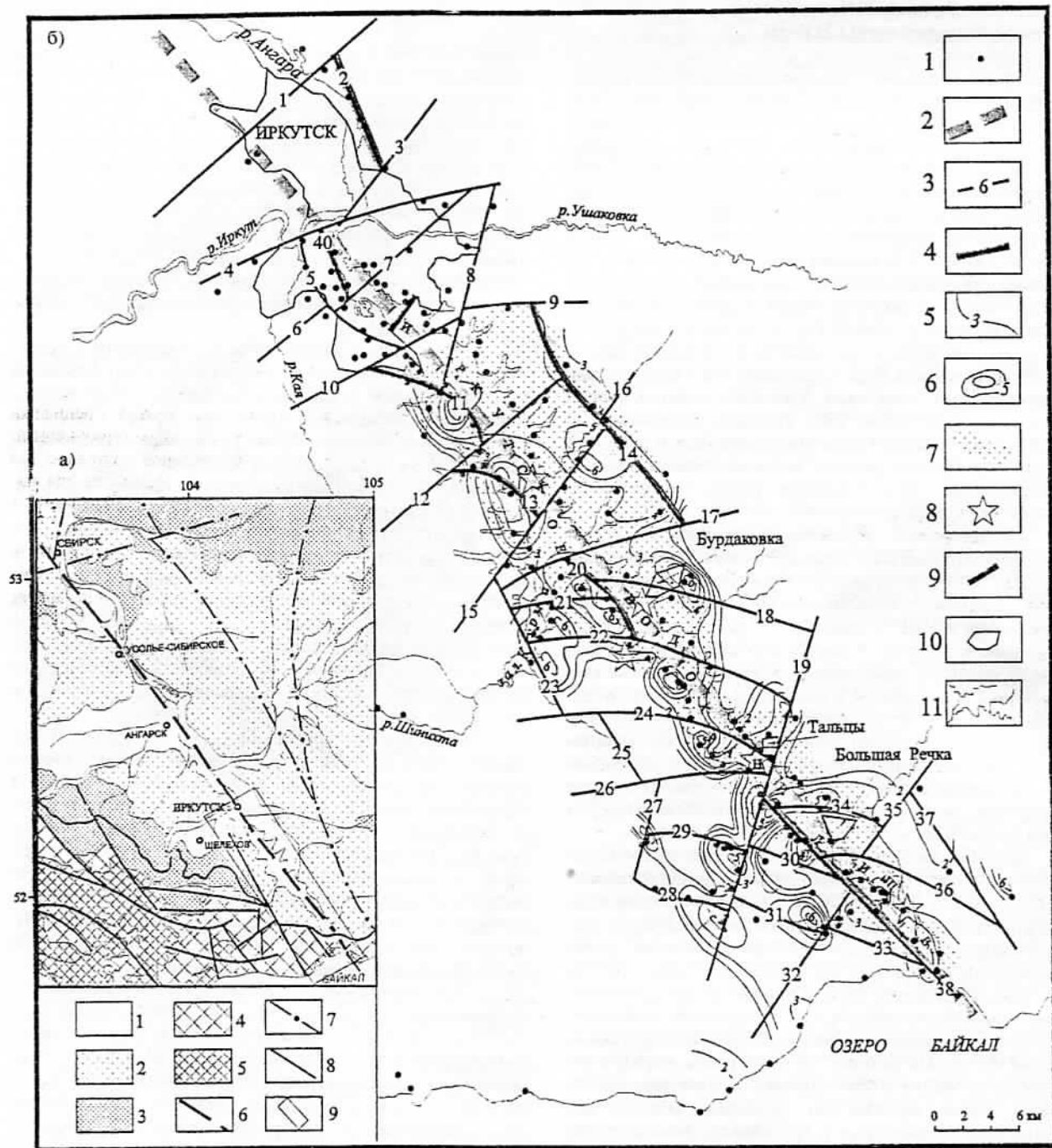


Рис.1. Разломно-блоковая структура зоны влияния Верхнеангарского разлома.

а – положение Верхнеангарского разлома в геологической структуре юга Сибирской платформы по карте [3].

Обозначения: 1-5 – разновозрастные горные породы (1 – кайнозойские, 2 – мезозойские, 3 – палеозойские, 4 – протерозойские, 5 – архейские); 6 – ось Верхнеангарского разлома; 7-8 – разломы, не выходящие (7) и выходящие (8) на поверхность; 9 – район работ.

б – схема разломно-блоковой структуры района работ.

Обозначения: 1 – станции массового замера трещин; 2 – ось Верхнеангарского разлома; 3 – разломы и их номера; 4 – локальные разломы СЗ ориентировки в зоне Верхнеангарского разлома; 5 – изолинии плотности (в %) трещин СЗ ориентировки, определенной по интенсивности максимуму на диаграммах трещиноватости; 6 – области с аномальными (> 5) значениями плотности трещин СЗ ориентировки; 7 – зона влияния Верхнеангарского разлома в отсутствующей трещиноватости; 8 – эпицентр землетрясений; 9 – плотина Иркутской ГЭС; 10 – границы населенных пунктов; 11 – гидростень

[13]. В настоящее время он представлен серией эшелонированных локальных разломов двух отличающихся типов: прямолинейных субвертикальных разрывов северо-западной ориентировки и пологих надвигов, которые обнажаются по левому берегу, имеют в плане изогнутую форму и генерализованное северо-западное простирание. Отдельные разломы достигают в длину 20 км и сопровождаются зонами передробленных пород шириной до 2 м. Обработка структурно-геологических материалов показала, что различные типы выявленных локальных разрывов сформировались в зоне Верхнеангарского разлома в разных динамических обстановках, имевших место на краю Сибирской платформы в связи с развитием границащих с ней Байкальской и Саянской зон деструкции.

Для определения поперечных размеров зоны Верхнеангарского разлома и уточнения элементов залегания составляющих ее локальных сместителей проведена количественная обработка массовых замеров трещин. Для каждой станции построены диаграммы трещиноватости и определены интенсивности максимумов субвертикальных трещин северо-западного направления, что послужило основой для составления карты их распределения в изолиниях (см.рис.16). Ее анализ позволил выделить зону Верхнеангарского разлома в сопутствующей трещиноватости, которая включает основные максимумы плотности трещин северо-западной ориентировки. Ширина зоны в среднем составляет 7 км и увеличивается с юго-востока на северо-запад вместе с мощностью отложений платформенного чехла.

Для оценки вероятности современных перемещений по локальным разрывам зоны влияния Верхнеангарского разлома в первую очередь рассматривалось площадное распределение эпицентров землетрясений по материалам С.И.Голенецкого [6], который считает, что большинство сейсмических событий, происшедших в светлое время суток, связано с проведением промышленных взрывов. Оставшаяся часть землетрясений обусловлена проявлением в краевой части платформы слабой тектонической активности, производной интенсивного процесса деструкции в Байкальском рифте. Не вдаваясь в дискуссию о происхождении этих землетрясений, можно констатировать приуроченность слабой наведенной или естественной сейсмичности к зоне влияния Верхнеангарского разлома. Эпицентры таких землетрясений (вместе с эпицентрами, локализуемыми в водохранилище) распространяются на расстояние около 50 км от истока р.Ангара (см.рис.16), что подтверждает современную активность северо-восточного участка разлома.

Характер проявления и признаки активности северо-западной части Верхнеангарского разлома изучались при более детальном структурно-геологическом исследовании окрестностей г.Иркутска и, особенно, площадки строительства моста через р.Ангару. Основой для анализа стала сеть из примерно 50 станций массового замера трещиноватости (рис.2), которые охватили большинство встречающихся в г.Иркутске разновидностей горных пород. Были задокументированы практически все естественные выходы юрских и, частично, четвертичных образований. Кроме того, изучались обнажения, искусственно созданные при строительстве зданий и сооружений (котлованы), прокладке теплотрасс, кабелей и т.п. (канавы, траншеи), археологических раскопках (канавы, шурфы), а также при проходке некоторых связанных со строительством моста скважин. Параллельно проводились геоморфологические и гидрогеологические наблюдения, включая точечное опробование на содержание гелия. В итоге, несмотря на слабую естественную обнаженность изучаемой территории для сбора геологоструктурных данных, была получена максимально возможная информация по разрывам, которые могли появиться в

горных породах при разновозрастных движениях в зоне Верхнеангарского разлома.

Результаты обработки геолого-структурных данных по отдельным представительным станциям массового замера трещиноватости в совокупности с геоморфологическими (выраженность разломов уступами в рельефе) и гидрогеологическими признаками (в т.ч. наличие высокого содержания гелия в родниках, что требует рассмотрения в отдельной публикации) позволили составить структурную схему зоны влияния Верхнеангарского разлома в окрестностях будущего моста (см.рис.2). При этом границы последней определялись в ходе анализа карт плотности различных систем трещин, а также по распространенности трещинных парагенезисов, которые могут активизироваться при подвижках вблизи сместителей локальных разломов северо-западного простирания.

Как видно из рис.2, в окрестностях нового моста наиболее достоверно выделяются два субвертикальных разлома локального ранга (см. также рис.16, разломы 7 и 40): Глазковский разрыв (эл.зал.  $255^\circ \angle 80-85^\circ$ ) и поперечный к нему Университетский разрыв (эл.зал.  $140^\circ \angle 85-90^\circ$ ), выраженный на берегах р.Ангара отдельными сегментами. Сместители разломов не обнажаются на поверхности, но подвижки по ним проявляются в виде устойчивого парагенезиса трещин (в т.ч. и со смещениями), образующих в перекрывающих четвертичных породах достаточно широкие зоны ( $\approx 200-300$ м).

В месте пересечения Глазковского и Университетского разломов (т.е. у левобережной оконечности будущего моста) при документировании четвертичных отложений в археологических шурфах установлено наличие сколовых трещин, смещений отдельных слоев по крупным трещинам с амплитудой в первые сантиметры (рис.3), смещений галек, а также довольно протяженных складок. Как показал тектонофизический анализ, выявленные на довольно большой площади структурные формы, скорее всего, формировались под воздействием одного регионального поля напряжений, имевшего место на изучаемом участке по крайней мере в верхнеплейстоценовое (а, весьма вероятно, и голоценовое) время. Наблюдения за смещениями галек на станциях массового замера у правобережной оконечности будущего моста также свидетельствуют о формировании трещинной сети в едином поле напряжений, которое обусловлено проявлением в четвертичном чехле правобережного сегмента Университетского разрыва и разрыва, субпараллельного Глазковскому, который менее отчетливо выражен в трещиноватости и поэтому на схеме (см.рис.2) показан, как предполагаемый.

Анализ документации скважин, пробуренных изыскателями в створе будущего моста, свидетельствует о наличии еще одного разломного сместителя аналогичного ранга, имеющего место в пойме р.Ангара (см.рис.2). Находящиеся у опоры №20 скважины характеризуются самоизливом подземных вод, причем стратиграфические разрезы в двух расположенных рядом (на расстоянии 8м) скважинах №161а и 157 свидетельствуют о смещении пластов юрского возраста в вертикальном направлении на первые метры и выпележающих галечников – на первые десятки сантиметров.

Итак, Верхнеангарский разлом как на отрезке исток р.Ангара – плотина ГЭС, так и в пределах Иркутска проявляется в структурном отношении единообразно, имеет среднюю ширину в сопутствующей трещиноватости около 7км и представлен отдельными локальными разрывами северо-западного (до субмеридионального) простирания, взаимодействующими с разломами северо-восточной (до субширотной) ориентировки. Ширина зон их влияния в трещиноватости в среднем составляет примерно 250м, а зон передробленных пород – не превышает 2 м. Такое состояние внутренней структуры, характеризующееся отсутстви-



ем магистрального сместителя регионального ранга, соответствует ранней стадии развития дизъюнктива.

вертикальные смещения по трещинам в обнажениях и разрывам в скважинах) свидетельствует о проявлении актив-

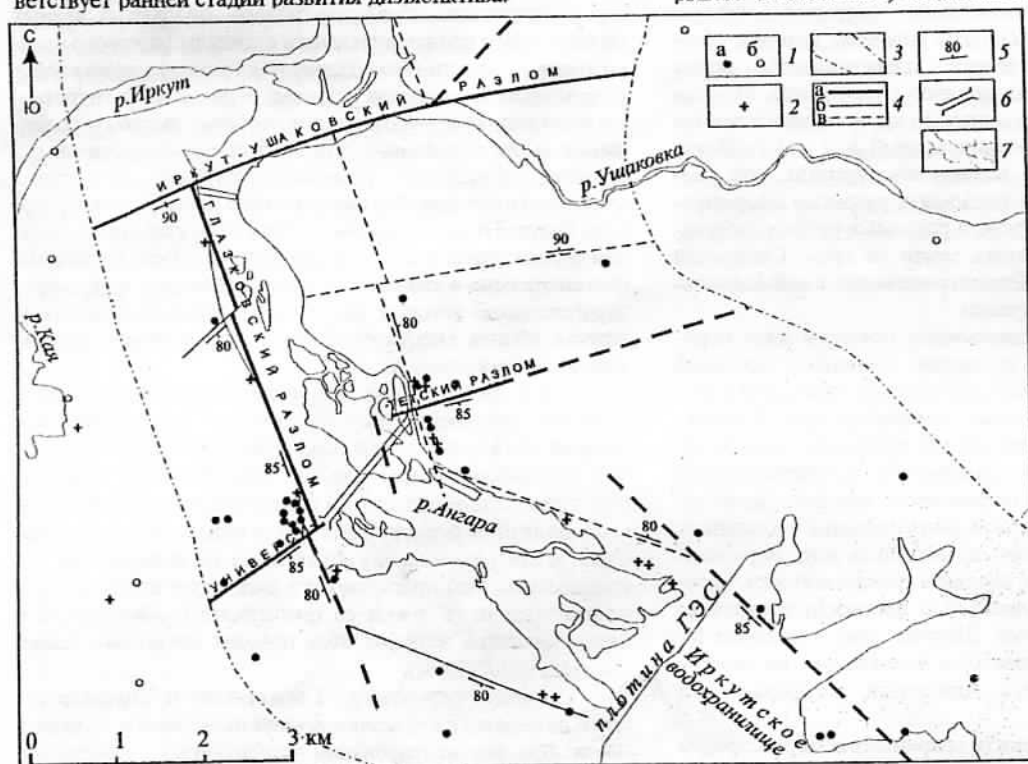


Рис.2. Схема разломной структуры зоны влияния Верхнеангарского разлома в окрестностях будущего моста через р. Ангару в г. Иркутске (на основе карты масштаба 1:50000).

Обозначения: 1 — станции массового замера, в которых проявлен (а) или не проявлен (б) парагенезис трещин, характерный для зон локальных разрывов СЗ простирания; 2 — точки с аномальным содержанием гелия в пробах воды; 3 — зона влияния Верхнеангарского разлома в сопутствующей трещиноватости; 4 — разрывы зоны Верхнеангарского разлома: а — локального ранга, б — более мелкого ранга, в — предполагаемые, 5 — элементы залегания сместителей разломов, установленные при анализе геолого-структурных данных; 6 — предполагаемое положение будущего моста; 7 — гидросеть



Рис.3. Фотография крупной трещины сбросового типа в верхнеплейстоценовых суглинках г. Иркутска

Однозначных структурно-геологических доказательств высокой современной активности Верхнеангарского разлома в окрестностях Иркутска не обнаружено. Однако серия косвенных геоморфологических и структурно-геологических признаков (включая отмеченные

которые разделяют относительно менее нарушенные блоки горных пород. Точное положение зон влияния локальных разломов, физико-механические свойства субстрата в их пределах и возможность будущих подвижек должны быть детально изучены при работах по сейсмическому микрорайонированию площадки строительства, а затем в полной мере учтены при проектировании и строительстве моста.

В связи с тем, что понятия "разлом" и "зона разлома" в СНиП для строительства сейсмостойких сооружений обычно подразумевают одиночную трещину значительной протяженности или, в лучшем случае, узкую (в пределах метров или десятков метров) зону повышенной раздробленности горных пород, мы полагаем, что изложенный в статье материал обратит внимание строителей и проектировщиков на однобокость подобной трактовки и позволит более полно учитывать новые данные о внутренней структуре разломов — объемных геологических образований с пониженной прочностью.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант 00-15-98574.

#### Литература

1. Геологический словарь. Т.2. - М.: Недра, 1978, 456с.
2. Гладков А.С., Семинский К.Ж. Нетрадиционный анализ поясов трещиноватости при картировании субгоризон-

ности его локальных сместителей в постплейстоценовое время. Значит Верхнеангарский разлом сохраняет неравномерную активность в современную эпоху тектогенеза: высокую - вблизи Байкальской рифтовой зоны и более слабую - в окрестностях Иркутска. Определение характера активности связано с получением дополнительного фактического материала и может быть задачей нового этапа изучения Верхнеангарского разлома.

Таким образом, несмотря на расположение нового моста через р. Ангару в зоне регионального разлома, устойчивость геологического фундамента под строительство будет определяться наличием и степенью современной активности локальных разрывов (Глазковского, Университетского и др.),

- тальных разломных структур (на примере окрестностей Иркутска) // Геология и геофизика, 1999, №2, с.213-220.
3. Карта разломов юга Восточной Сибири. Масштаб 1:1500000 / Ред. П.М.Хренов, 1988.
4. Кофф Г.Л., Кабанцев О.И., Лобацкая Р.М. Тектонические разломы в сейсмоактивных областях и строительное проектирование // Проект, 1995, №5-6, с.26-30.
5. Ламакин В.В. Неотектоника Байкальской впадины. - М.: Наука, 1968, 247с.
6. Проблемы оценки и прогноза устойчивости геологической среды г.Иркутска / Отв.ред. Р.М.Лобацкая. - Иркутск: ИрГТУ, 1997, 175с.
7. Ружич В.В. Сейсмотектоническая деструкция в земной коре Байкальской рифтовой зоны. - Новосибирск: Изд-во СО РАН, 1997, 63с.
8. Семинский К.Ж. Принципы и этапы спецкартирования разломно-блоковой структуры на основе изучения тре-

пиноватости // Геология и геофизика, 1994, № 9, с.112-130.

9. СНиП II-7-81. Строительство в сейсмических районах / Госстрой СССР. М.: Стройиздат, 1982, 48с.
10. Шерман С.И. Физические закономерности развития разломов земной коры. - Новосибирск: Наука, 1977, 102с.
11. Шерман С.И., Борняков С.А., Буддо В.Ю. Области динамического влияния разломов (результаты моделирования). - Новосибирск: Наука, 1983, 112с.
12. Шерман С.И., Днепровский Ю.И. Поля напряжений земной коры и геолого-структурные методы их изучения. - Новосибирск: Наука, 1989, 157с.
13. Шерман С.И., Семинский К.Ж., Борняков С.А. и др. Разломообразование в литосфере. Зоны сдвига. - Новосибирск: Наука, 1991, 262с.
14. Levi K.G., Miroshnichenko A.I., San'kov V.A. et. al. Active faults of the Baikal depression // Bull. Centre Rech. Elf Explor. Prod. 1997, v.21, N2, p.399-434.

Материал хранится в Институте земной коры СО РАН: 664033, Иркутск-33, ул.Лермонтова, 128.  
Тел.: (3952) 36-77-41.

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ УРОВНЯ УСИЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ, РАБОТАЮЩИХ В УСЛОВИЯХ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

Арутюнян Р.Г., инженер (МГСУ)

Восстановление или усиление изношенных и поврежденных конструкций и зданий приводит к значительной экономии материальных и трудовых ресурсов, сокращает срок ввода объектов в дальнейшую эксплуатацию. Поэтому проблема рационального усиления является актуальной. Эта проблема особенно остро стоит в сейсмических районах из-за огромного количества поврежденных от землетрясения конструкций и невозможностью устранения последствий землетрясения в короткие сроки.

Под рациональным усилением надо понимать: а) определение рационального уровня усиления, б) минимизацию совокупных затрат усиления.

Под «уровнем усиления» понимается степень увеличения несущей способности (НС) конструкций после усиления

В данной статье рассматриваются вопросы определения рационального уровня усиления конструкций.

В настоящее время долговечность конструкций обеспечивается коэффициентами надежности по материалам и нагрузкам, коэффициентами условий работы. При этом величины этих коэффициентов принимаются с таким расчетом, чтобы долговечность конструкций соответствовала нормативному сроку эксплуатации. Для усиленных конструкций долговечность не является нормируемым параметром и зависит от остаточного срока их службы, который может быть в несколько раз меньше нормативного срока службы. Поэтому, при усилении конструкций определение начального ресурса НС с применением вышеуказанных коэффициентов нецелесообразно, так как это заведомо приводит к завышенным затратам.

Известно, что НС конструкции, эксплуатируемой в обычных условиях, из-за деградиционных процессов, протекающих в ее теле, постепенно снижается (рис. 1, кривая 1-3). Такое снижение хорошо описывается экспоненциальным законом [1]:

$$R(t) = [R] \cdot e^{-\lambda \cdot t}, \quad (1)$$

где  $R(t)$  - несущая способность конструкции в момент времени  $t$ ;  $[R]$  - начальный уровень несущей способности;  $\lambda$  - суммарный коэффициент, характеризующий относительную скорость потери несущей способности элементов в результате коррозии, старения и т.п.

При землетрясении запроектной величины несущая способность конструкций может снижаться скачкообразно (рис. 1, кривая 1-2-4-5). А в случае землетрясения расчетной или ниже расчетной интенсивности, вследствие появившихся деформаций, прогибов, трещин, выколов, а также ослабления сцепления арматуры с бетоном увеличивается интенсивность коррозии и износа материалов конструкций. Тем самым скорость деградации в конструкциях увеличивается (рис. 1, кривая ...-4-5-6-7). В таких условиях точное прогнозирование уровня несущей способности конструкции на момент времени  $t$  не представляется возможным и не имеет смысла с точки зрения практической значимости. Анализ материалов обследования 300 жилых зданий г. Ванадзор, проведенных после Спитакского землетрясения, позволяет заключить, что сейсмический режим региона (балльность, сотрясаемость) имеет непосредственное влияние на долговечность конструкций. Интенсивность такого влияния напрямую зависит от плотности суммарного сейсмического потока в регионе. Очевидно, что для практических расчетов ломаную 1-2-4-5-6-7 можно заменить кривой 1-7, применяя при этом зависимость (1) с соответствующим данному сейсмическому региону значением коэффициента износа -  $\lambda$ .

Для г. Ванадзор определены средние значения коэффициента износа для каркасных зданий серии 111, для которых  $\lambda = 0,0053$ , а также для 4 и 5-этажных зданий серий 1А-450 и 1А-451, построенных из туфового камня, для которых  $\lambda = 0,0085$ .

Если задаться минимально допустимым уровнем НС на период расчетного срока эксплуатации, то можно за счет удорожания конструкции достичь уровня начальной НС с таким ресурсом  $R_0$  (см.рис. 1), чтобы, постепенно снижаясь, она достигла минимально допустимого уровня только к концу расчетного срока эксплуатации. В условиях сейсмичности территории минимально допустимый уровень НС может быть условно представлен в двух уровнях (см.рис. 1): верхний уровень -  $R_{\min}^6$ , при котором, в случае воздействия землетрясения расчетной величины, конструкция не получает или почти не получает повреждений, и нижний уровень -  $R_{\min}^H$ , при котором конструкция получает предельную степень повреждения в случае воздействия землетрясения расчетной величины. С момента, когда фактиче-