
**ПРИРОДНЫЕ
И ТЕХНОПРИРОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ**

УДК 551.24; 551.432

**СТРУКТУРНО-ГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ОБЛАСТИ
СОЧЛЕНЕНИЯ ЮЖНОЙ ЧАСТИ СИБИРСКИХ ПЛАТФОРМ
И АЛТАЕ-САЯНСКОГО ОРОГЕНА**

© 2015 г. В. М. Макеев, С. В. Григорьева

*Институт геоэкологии им Е.М.Сергеева Российской академии наук (ИГЭ РАН),
Уланский пер., д. 13, стр. 2, г. Москва, 101000 Россия. E-mail: vmakeev@mail.ru*

Поступила в редакцию 15.04.2014 г.

Рассмотрены структурно-геодинамические условия области сочленения разнородных и разновозрастных структур Западно-Сибирской плиты, Сибирской платформы и Алтае-Саянской горно-складчатой области в связи с захоронением токсичных отходов Красноярского горно-химического комбината (ГХК). Оценка геодинамической безопасности этой территории основана на исследованиях древних структур, включающих разломы различного морфо-кинематического типа, и неотектонических деформаций. Создана схема структурно-геодинамической зональности, на которой показаны неотектонические структуры изгибного типа и главные активные разломы с единой позиции эволюции геодинамических систем.

Ключевые слова: неотектонические структуры, структурно-геодинамическая зональность, активные разломы, изгибные деформации, линеаменты, платформенные и орогенные структуры, глубинные геодинамические системы.

ВВЕДЕНИЕ

Изучение территории захоронения токсичных отходов Красноярского горно-химического комбината (ГХК) Красноярск–Железногорск–Дивногорской агломерации направлено на выявление закономерностей и причин пространственно-временного распределения структурно-геодинамической зональности, с которой связывается образование опасных эндогенных и экзогенных явлений [5, 21–24]. Оценка геодинамической безопасности этой территории базируется на анализе разновозрастных структур. Основное внимание уделяется характеристике новейших и современных структур, которые в той или иной мере могут представлять угрозу для инженерных сооружений разного класса ответственности.

Территория исследований расположена в обширной зоне сочленения разнородных и разновозрастных структур Западно-Сибирской плиты, Сибирской платформы и Алтае-Саянской горно-складчатой области, которые прошли принципиально различный путь геологического развития. Это предопределило значительные пространственно-временные различия вещественно-структурных и реологических характеристик геологической среды. Они изучались на основании

опубликованных и фондовых материалов различного назначения: неотектонических, структурно-геоморфологических и инженерно-геологических карт разных масштабов и статей по этому региону [1, 3–5, 7–15, 17–19, 25–28]. Целенаправленные исследования территории захоронения с единых структурно-геодинамических позиций до сих пор не проводились. В этой связи оценка геодинамической безопасности территории исследования – актуальная проблема современности.

ОБЩЕЕ СТРУКТУРНО-ФОРМАЦИОННОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ ДРЕВНИХ (ДОНЕОТЕКТОНИЧЕСКИХ) КОМПЛЕКСОВ

Согласно концепции эволюции современных геодинамических систем, древние структурно-формационные комплексы под влиянием неотектонических деформаций могут создавать условия для концентрации аномальных напряжений и деформаций [21–23]. Потенциальными источниками дополнительных напряжений считаются складчато-разрывные зоны, структурно-формационные границы и прочие древние высокоградиентные неоднородности.

Территория исследований расположена в обширной зоне сочленения Алтае-Саянской па-

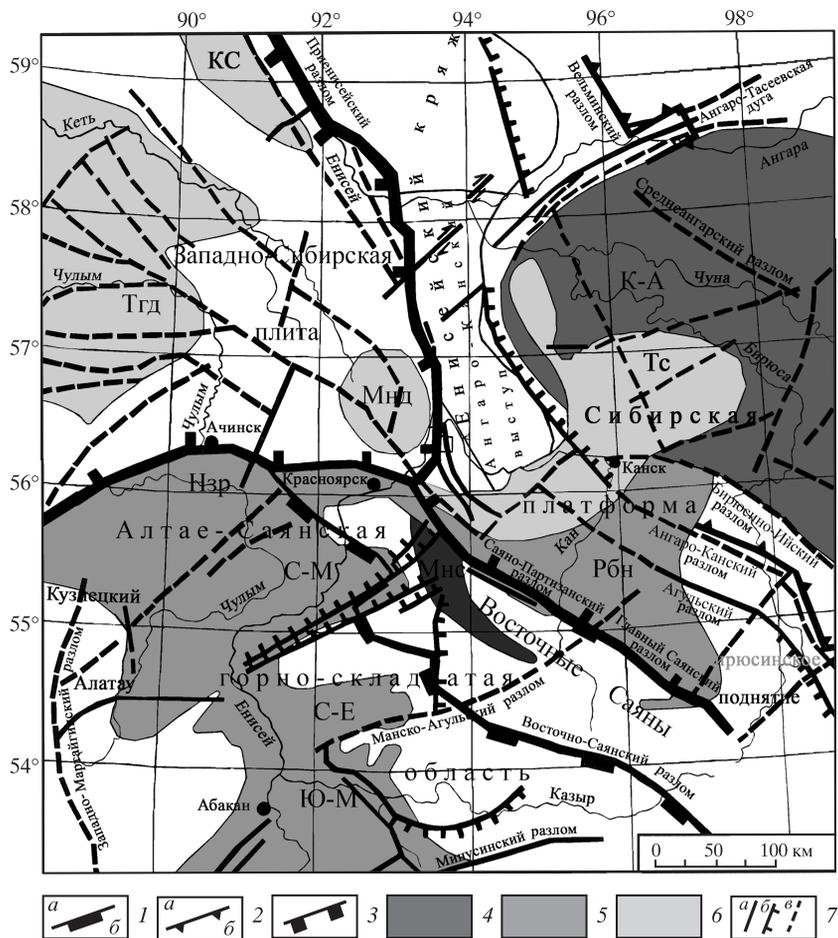


Рис. 1. Тектоническое строение области сочленения сибирских платформ и Алтае-Саянского орогена. 1–3 – границы: 1 – между байкальской (а) и салаирской (б) складчатостями, 2 – между байкальской складчатостью (а) и архейским фундаментом Сибирской платформы (б), 3 – между Западно-Сибирской плитой и Сибирской платформой, и Алтае-Саянской горно-складчатой областью; 4–6 – впадины: 4 – раннекембрийского возраста: Канско-Ангарская платформенная (К-А), Манская субплатформенная (Мнс), 5 – раннедевонского возраста: Рыбинская (Рбн), Назаровская (Нзр), Северо-Минусинская (С-М), Южно-Минусинская (Ю-М), Сыдо-Ербинская (С-Е); 6 – юрского возраста: Тасеевская (Тс), Миндерлыкская (Мнд), Тегульдская (Тгл), Касская (КС); 7 – древние (донеотектонические) разломы: установленные взбросы (а) и сбросы (б), предполагаемые неясного морфо-кинematicкого типа (в).

леозойской горно-складчатой области, древней Сибирской докембрийской (архейской, досинийской) платформы и молодой Западно-Сибирской эпипалеозойской плиты [16, 29, 30] (рис. 1).

Алтае-Саянская горно-складчатая область по возрасту складчатости разделена на три сегмента: 1) Енисейско-Саянский байкальский, 2) Кузнецко-Северо-Монгольский салаирский (раннекаледонский) и 3) Алтае-Западно-Саянский каледонский.

Енисейско-Саянский байкальский складчатый сегмент распространен в Енисейском кряже и Восточном Саяне. В составе Енисейского кряжа рассматривается Ангаро-Канский выступ. Северо-западная граница складчатого сегмента устанавливается по правобережью Енисея,

унаследовавшему Приенисейский раннепротерозой-позднепалеозойский разлом (PR₁-PZ₃). В районе г. Красноярска этот разлом обрывается поперечным Манско-Агульским разломом. К югу от Красноярска юго-западным ограничением байкальской складчатости Восточного Саяна служит Восточно-Саянский позднепротерозой-юрский разлом (PR₃-J). Северо-восточная граница складчатого сегмента прослеживается вдоль Вельминского позднепротерозой-кайнозойского разлома (PR₃-KZ), который к югу от Енисейского кряжа обрывается Ангаро-Тасеевской дугой разрывных нарушений. В Восточном Саяне эта граница прослеживается по позднепротерозойскому Ангаро-Канскому разлому (PR₃). Некоторыми исследователями она проводится немного северо-восточнее по Бирюсинско-Ийскому разлому [2].

К началу кембрия структуры байкальской складчатости становятся эрозионно-денудационным ложем для образования на нем платформенного чехла. Здесь в раннем кембрии заложилась Манская и Канско-Ангарская впадины, позднее в раннем девоне – Рыбинская и Минусинская впадины.

Байкалиды Енисейского кряжа, в том числе Ангаро-Канского выступа, в пределы рассматриваемой территории входят только южной своей половиной. Складчатость этого кряжа образует здесь антиклинорий, который сложен архейскими и нижнепротерозойскими (докембрийскими) геосинклинальными формациями, разделенными структурным несогласием. С западной стороны байкальская складчатость Енисейского кряжа ограничена мезозой-кайнозойскими отложениями, выполняющими Миндерлыкскую и Касскую впадины Западно-Сибирской плиты. Граница хорошо маркируется долиной р. Енисей, приуроченной к этим впадинам. С юго-восточной стороны эта складчатость ограничивается Тасеевской платформенной венд-палеозойской впадиной, с северо-восточной стороны – наложенными грабен-синклиналями, выполненными молассовой формацией верхов позднего рифея и венда [29, 30]. Между рр. Ангарой и Каном байкальская складчатость Енисейского кряжа перекрывается Канско-Ангарской раннепалеозойской платформенной впадиной (PZ₁, P+T).

Границы Енисейского складчатого кряжа выражены разломными зонами. На западной границе развиты субмеридиональные сбросы с амплитудой смещения более 100 м. Они отчасти наследуются долиной р. Енисей [2]. Вдоль разломов докембрийская геосинклинальная формация контактирует с платформенными отложениями чехла Западно-Сибирской плиты. Вдоль восточной периферии кряжа также развита сбросовая зона субмеридионального простирания. В районе Ангары она смещается по латерали вследствие пересечения ее поперечным взбросом северо-восточного простирания. Согласно с ним, в центральной части Енисейского кряжа образованы короткие разрывы взбросо-сдвигового типа.

В Рыбинской и Канско-Ангарской палеозойских впадинах фундамент представлен байкальской складчатостью, погруженной до глубины –2 500 м. В юго-восточном направлении она воздымается до отметок +500–700 м, образуя Бирюсинский протяженный выступ. Здесь он сложен геосинклинальной формацией раннеархейского возраста. Отложения здесь смяты в складки преимущественно северо-западного простирания.

А.Г. Золотарев считает, что Бирюсинский выступ – вздыбленный архейский кристаллический фундамент Сибирской платформы, поскольку первично он был частью этой платформы [6]. Однако здесь развит не только геосинклинальный, но и орогенный верхний докембрий, что заставляет некоторых исследователей рассматривать выступ в качестве краевого поднятия Енисейско-Саянской байкальской складчатости [16].

Восточно-Саянская горно-складчатая область сложена рифейскими геосинклинальными формациями, интенсивно переработанными в байкальский тектоно-магматический цикл. Они отвечают антиклинорному поднятию, шарнир которого постепенно погружается в северо-западном направлении в сторону Западно-Сибирской плиты. На границе байкальской складчатости Восточного Саяна и осадочного чехла Сибирской платформы расположен Восточно-Присаянский передовой прогиб шириной 20–60 км, сложенный молассовой позднерифейско-раннекембрийской формацией. Прогиб с двух сторон ограничен погребенными разломами: от платформы он отделяется Бирюсинским разломом, от Бирюсинского поднятия – Присаянским разломом.

В северо-западной части Восточного Саяна в районе р. Кан на байкальскую складчатость наложена Манская субплатформенная впадина, выполненная карбонатно-терригенными формациями кембрия. Ее северо-восточная граница соответствует Манско-Агульскому разлому. Северная часть прогиба несогласно перекрыта Рыбинской раннедевонской впадиной, южная часть представлена узким грабеном, к которому приурочена густая сеть речных долин. На юго-западном склоне Восточного Саяна байкальская складчатость по разломным зонам северо-западного простирания ступенчато погружается под Казыр-Кизирскую салаирскую субширотную складчатую зону. В результате здесь создается ярко проявленный перекрестно-структурный план. Непрерывность развития юго-западной границы Восточного Саяна нарушается относительно короткими разрывами северо-восточного простирания.

Кузнецко-Северо-Монгольский салаирский складчатый сегмент опоясывает байкальскую складчатость с запада и юга [16]. Его геосинклинальные или тектоно-магматические формации обнажаются в Кузнецком Алатау, юго-западном склоне Восточного Саяна и составляют фундамент Минусинских межгорных впадин. На западе границей сегмента служит Западно-Мартангийский (Кузнецко-Шорский) разлом, на востоке –

Восточно-Саянский разлом, на юге – Минусинский (Западно-Саянский) разлом.

Минусинские межгорные субширотные впадины: Назаровская (НЗр), Северо-Минусинская (С-М), Сыдо-Ербинская (С-Е) и Южно-Минусинская (Ю-М) – наложенные герцинские (см. рис. 1). Фундамент этих впадин отвечает салаирской субширотной складчатости. По Западно-Мартангинскому разлому он сочленяется с одновозрастными складчатými структурами Кузнецкого Алатау.

Алтае-Западно-Саянский каледонский складчатый сегмент широко развит в Западном Саяне. Территория исследования включает только северную краевую часть Западного Саяна с Минусинской разломной зоной. Эта часть складчатого сегмента вместе с разломом имеет принципиальное значение для сейсмотектоники, поскольку характеризуется широким интервалом активности: от раннего кембрия по кайнозой включительно (E_1 -KZ). По разлому салаирские складчатые и герцинские субплатформенные структуры Южно-Минусинской впадины контактируют друг с другом.

Помимо разновозрастных складчатых структур, распространенных в горных системах (в орогенах), территория исследования включает структуры Сибирской архейской платформы и Западно-Сибирской эпипалеозойской плиты.

Сибирская архейская платформа представлена здесь Среднесибирской синеклизой, включающей Енисейский кряж, в том числе Ангаро-Канский выступ, Канско-Ангарскую (К-А) и Рыбинскую (Рбн) впадины (см. рис. 1). Складчато-разрывные структуры Енисейского кряжа и Ангаро-Канского выступа детально рассмотрены выше.

Осадочный чехол платформы начал формироваться с раннего протерозоя (с синия). Западную границу отложений чехла Сибирской платформы к северу от г. Красноярска проводят по левобережью Енисея, она выражена разломными зонами, которые очень круто погружаются в сторону Западно-Сибирской плиты. В отложениях чехла их активность проявлена в виде согласных крутых флексур. Юго-западная граница платформы от Красноярска до оз. Байкала прослеживается по Саяно-Партизанской и Главной Саянской (Присянской) разломным зонам. По этим же разломным зонам складчатое поднятие Восточного Саяна отделяется от вздыбленного в новейшее время Бирюсинского поднятия – кристаллического фундамента Сибирской платформы.

За пределами Канско-Ангарской впадины в широкой полосе, ограниченной Бирюсинско-

Ийским (PR_3 -MZ) и Вельминским (PR_3 -KZ) разломами с одной (восточной) стороны и западной границей платформы с другой, возраст кристаллического фундамента несколько омоложен. Здесь он байкальский и обнажается в краевых орогенах – Восточно-Саянском (Протеросаянском) и Енисейском [30].

Канско-Ангарская впадина сложена осадочными породами нижнего и верхнего палеозоя и нижнего мезозоя (PZ_1 , PZ_3 , P+T). Границы впадины на западе и юго-западе проводятся по обрамляющим ее краевым орогенам. На северо-западе в низовьях р. Ангары впадина сочленяется с Катангским поднятием, сложенным нижнепалеозойскими породами, на юго-востоке – с Чуно-Бирюсинским поднятием. Шарнир Канско-Ангарской впадины полого погружается с северо-запада в юго-восточном направлении с градиентом, исчисляемым минутами. В районе г. Канска по глубинному Бирюсинско-Ийскому разлому она контактирует с Рыбинской впадиной [2].

Рыбинская впадина, расположенная в юго-восточной части Сибирской платформы, заложилась в начале девона на рифейском складчатом фундаменте, ограничивается Главным Саянским разломом. Она несогласно перекрывает Восточно-Присянский передовой позднерифейско-раннекембрийский прогиб. В юго-восточном направлении в сторону р. Бирюсы впадина осложняется узкой Гутарской второстепенной впадиной, которая по характеру образования – уменьшенный аналог обширной Минусинской впадины. Рыбинская впадина сложена пестроцветной осадочно-вулканогенной молассой нижнего девона мощностью до 2000 м и красноцветной молассой среднего и верхнего девона мощностью до 3000 м. Местами в ней сохранились маломощные угленосные юрские континентальные отложения. Завершается разрез впадины юрскими породами, выполняющими Саяно-Партизанскую, Канскую и другие мульды. Между мульдами располагаются протяженные валы. Один из них – Асафьевско-Привольненский вал, описан в работе академика В.Е. Хаина [30].

В юрское время произошло погружение юго-западной части Сибирской платформы. Особенно активно это происходило вдоль Главного Саянского разлома. В результате Саяно-Партизанская мульда в приразломной своей части подверглась интенсивным дислокациям. Позже, в меловое и третичное время, это опускание сместилось к востоку в сторону Енисейско-Ленского прогиба и к западу в сторону Чулымо-Енисейской синеклизы. По Агульскому, Саяно-Партизанскому и

другим древним разломам были возобновлены движения, которые проявились высокоградиентными уступами в рельефе [2, 20].

Западно-Сибирская эпипалеозойская плита на территории исследований представлена Чулымо-Енисейской обширной синеклизой. Возраст складчатого фундамента – до триасовый. На юге плита ограничивается структурами салаирской складчатости Алтае-Саянской области, на востоке – структурами байкальской складчатости Енисейского кряжа и Восточного Саяна. Южную и восточную границы Западно-Сибирской плиты в области исследований проводят по разломным зонам [2, 15, 16, 29]; на востоке – по Приенисейскому взбросу, на юге – по Приаргинскому сбросу. Последний выражен уступом в поверхности палеозойского складчатого фундамента, флексурами в юрских отложениях чехла и повышенной трещиноватостью в кайнозойских отложениях. Амплитуда смещений по этим разломам оценивается как минимум первыми сотнями метров. Со стороны Минусинской и Назаровской впадин в северном направлении под мезозойский чехол плиты погружаются герцинские орогенные формации, смятые в складки.

В течение триаса территория исследования находилась вне зоны осадконакопления. Накопление сплошного осадочного чехла началось только со средней юры и продолжалось в течение всего мезозой-кайнозойского времени. В итоге, в юго-восточной части плиты образовалась Чулымо-Енисейская обширная синеклиза. В ней выделяются второстепенные ранне-среднеюрские впадины: Тегульдетская (Тгд), Миндерлыкская (Мнд) и Касская (КС). Они отделены друг от друга структурными носами и заливами. В новейшее неоген-четвертичное время здесь продолжилось интенсивное осадконакопление [12].

Таким образом, территория исследования представлена разновозрастными и разнородными структурами с разной интенсивностью деформаций. Границы орогенных и платформенных структур характеризуются интенсивными складчато-разломными дислокациями. Наибольшее изменение претерпела краевая зона Сибирской платформы с образованием Ангаро-Канского и Бирюсинского высокоамплитудных поднятий и сопряженных с ними погружений. Значительно меньшие изменения произошли на границе Западно-Сибирской плиты и Алтае-Саянского орогена. Здесь образовалась Аргинская зона разрывных и флексурных деформаций, выраженная в рельефе северным тектоническим фасом Восточных Саян.

НЕОТЕКТОНИЧЕСКИЕ СТРУКТУРЫ

Согласно структурно-геодинамическим условиям образования неотектонических (новейших) структур, территория исследований разделяется на две части: 1) северную платформенную и 2) южную орогенную (рис. 2).

Северная часть представлена новейшими тектоническими структурами Западно-Сибирской плиты и Сибирской платформы.

Западно-Сибирская плита по амplitудам, контрастности и градиентам неотектонических движений относится к категории низких. На территории исследования она очень слабо деформирована с образованием широких и пологих поднятий и понижений (прогибов) субширотного простирания изгибного типа. Амплитуды суммарных неотектонических деформаций составляют здесь 150–200 м, амплитуда рельефа (размах деформаций) 40–60 м, градиент деформаций в среднем 0.2 см/км.

Сибирская платформа по сравнению с Западно-Сибирской плитой относится к категории высоких и характеризуется повышенной тектонической активностью [5]. На территории исследований в юго-западной части Сибирской платформы амплитуды суммарных неотектонических деформаций составляют 200–600 м, амплитуда рельефа – 50–100 м и выше, градиент локальных деформаций в среднем – 0.4 см/км.

На основании анализа рельефа и отложений здесь впервые установлены узкие протяженные структурные понижения и поднятия или полосы деформаций, группирующиеся в две структурных ветви (зоны) с разным простиранием – Ангарскую и Канскую (см. рис. 2).

Ангарская ветвь деформаций северо-восточного простирания прямолинейная с секущим, на отдельных участках скрытым характером развития. Понижения отчасти наследуются долиной р. Чулым в Западно-Сибирской плите, рр. Ангарой и Вилюем в Сибирской платформе. Поднятия отвечают их водораздельным частям. Ветвь деформаций без изменения простирания пересекает древние разнородные структуры – складчатый Енисейский кряж, Тегульдетскую плоскую впадину и др. При этом развитие подобной зональности в южном направлении в сторону Алтае-Саянского орогена постепенно затухает. Это позволяет считать ее однородной, образованной под влиянием северного источника деформаций, или, точнее, связать ее происхождение с эволюцией Арктической геодинамической системы. Исследования,

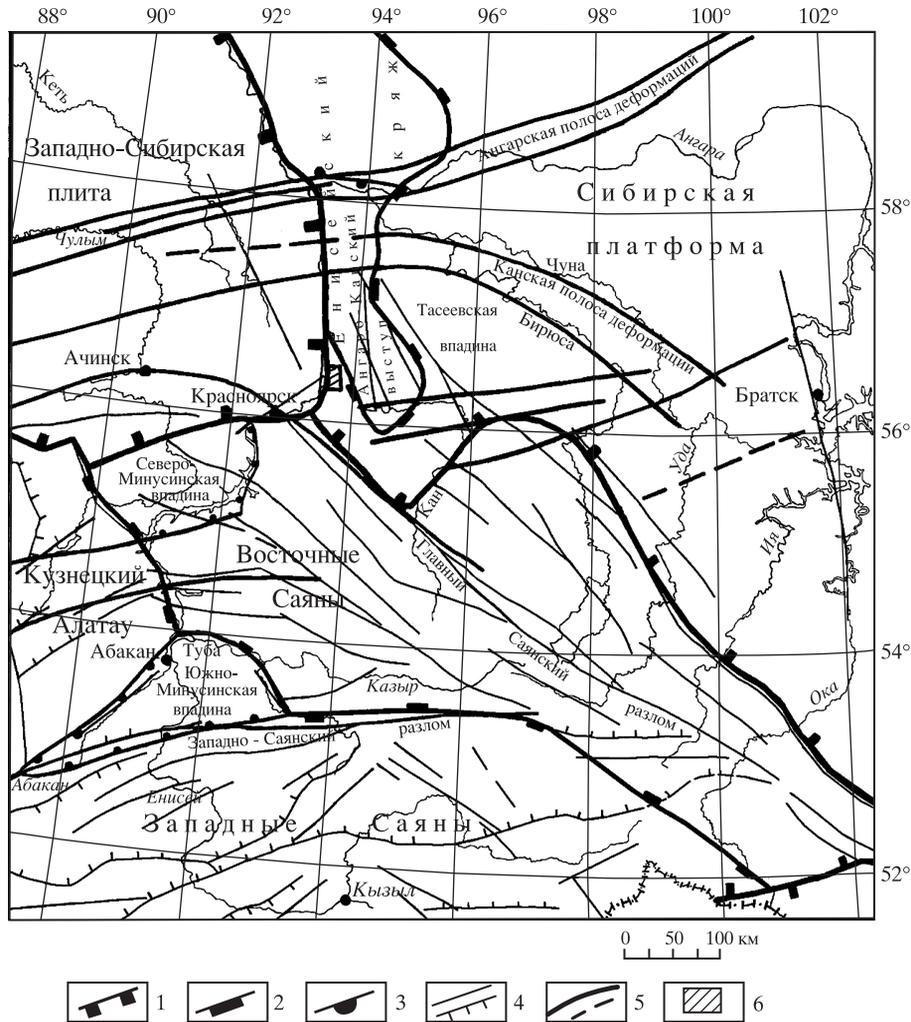


Рис. 2. Структурно-геодинамическая зональность области сочленения сибирских платформ и Алтае-Саянского орогена. 1–3 – границы неотектонических структур разного порядка: 1 – Западно-Сибирской плиты, Сибирской платформы и Алтае-Саянской горно-складчатой области (структуры I порядка); 2 – Енисейского кряжа, Восточных и Западных Саян (структуры II порядка); 3 – Ангаро-Канского выступа, Северо-Енисейской и Южно-Минусинской впадин, (структуры III порядка); 4 – главные линеаменты (а), разломы (б); 5 – полосы структурных понижений или деформаций, выраженные четко (а) или слабо (б); 6 – площадка Красноярского горно-химического комбината (ГХК).

проведенные ранее В.И. Макаровым, показали, что подобного рода зональность широко распространена севернее территории исследования, где она хорошо согласуется с Арктической рифтовой зоной [22] – очагом-источником современных напряжений и деформаций. В этой связи Ангарскую ветвь деформаций следует считать фронтом периокеанической зональности. Исследования в данном направлении с целью доказательства таких представлений предстоит еще провести.

Канская ветвь деформаций дугообразная. Она пересекает древние структуры Западно-Сибирской плиты и Сибирской платформы – Миндерлыкскую, Рыбинскую впадины и другие структуры. Иными словами, она характеризуется сквозным, секущим характером строения. Ее по-

нижения отчасти наследуются долинами рр. Чулыма, Ангары и Вилюя, поднятия – их водоразделами. По простиранию подобная зональность, распространенная к югу, хорошо согласуется с дугообразным фасом Алтае-Саянского орогена. Это дает основание связать ее происхождение с латеральным давлением новейшего орогена на платформенные территории, а Канскую ветвь деформаций считать его фронтом. Поскольку давление распространяется от орогена до долин рр. Чуны и Бирюсы на Сибирской платформе и р. Чулыма на Западно-Сибирской плите, рассматриваемую зональность следует относить к категории перiorогенных.

Неотектоническая зональность Сибирской платформы южнее Ангарской ветви деформаций

резко отличается от той, которая имеется к северу от этой ветви, т.е. от зональности, развитой во внутренней части платформы. Неотектонические формы имеют здесь более линейное строение, чем в северной, поскольку более приподняты и дифференцированы. В то же время контрастность (размах) рельефа постепенно убывает с юго-запада со стороны Бирюсинского поднятия на север платформенной территории. Это дает основание связывать формирование этой зональности с латеральным давлением на платформу со стороны Бирюсинского поднятия Восточно-Саянского орогена.

Многие исследователи отмечают, что общие и частные деформации внутренних частей сибирских платформ и перирогенной зоны могут проявляться морфологически одинаково [4, 6, 11, 15, 23]. Среди них присутствуют линейные, дугообразные и концентрические формы в равной мере. Однако по градиенту суммарных деформаций и степени их дифференциации (размаху) они сильно различаются. Эти характеристики становятся относительно повышенными в перирогенной зоне и уменьшенными во внутренней части этих платформ. А.Г. Золотарев и другие исследователи образование перирогенной зоны связывают с субгоризонтальным давлением Алтае-Саянского орогена [6, 13, 23]. При этом помимо линейных структур в нее включаются три поднятия: овальное, расположенное в верховьях рр. Кеть и Кемчуг, Енисейское вытянутое и Долгомостовское концентрическое. Согласно С.А. Несмеянову, поднятие Енисейского кряжа характеризуется высокой современной тектонической активностью по сравнению с другими структурами, входящими в состав Сибирской платформы. Это позволяет отнести его к категории орогенных [24].

В Восточно-Саянском орогене дугообразные деформации перирогенной зоны практически без изменения простирания перерождаются в высокоградиентные ступени или структурные звенья, поперечные к его простиранию. По этим ступеням Восточные Саяны постепенно снижаются с юго-востока на северо-запад с 3000 м до 500 м и ниже. Одновременно происходит относительное омоложение их возраста. В этой связи предполагается, что Восточно-Саянский ороген в целом в современных условиях формируется в связи с эволюцией Байкальской геодинамической системы. Она (эволюция) направлена с юго-востока со стороны Байкальской рифтовой зоны на северо-запад в сторону Алатае-Санского орогена и его перирогенной зоны.

Контрастная субмеридиональная граница Западно-Сибирской плиты и Сибирской платформы, выраженная Приенисейской древней разломной зоной и наследуемая долиной р. Енисей, проявляется неотектоническими флексурно-разрывными дислокациями. Она образуется в условиях взаимодействия встречных напряжений сжатия, наведенных с юга со стороны Алтае-Саянского новейшего орогена, и с севера со стороны Арктической (периокеанической) геодинамической системы. Эти разнородные напряжения сжатия приводят к образованию субмеридиональных зон растяжения, согласующихся с древней разломной зоной.

Таким образом, согласно концепции современных геодинамических систем, постулирующей эволюцию глубинных коровых и верхнемантийных процессов, включая признание структурной и вещественной (реологической) расслоенности литосферы, в Западно-Сибирской плите и Сибирской платформе, примыкающих к Алтае-Саянскому новейшему орогену, выделяется перирогенная зона повышенных деформаций [21, 29, 33].

Происхождение неотектонических деформаций платформенных территорий и природа их современной активности до сих пор дискуссионны. По Н.И. Николаеву [12, 25], их образование связывается с автономным внутриплатформенным режимом земной коры; по Н.С. Шатскому [31], – с процессами, наведенными исключительно со стороны прилежащих к платформе горно-складчатых областей; по В.И. Макарову и Ю.К. Щукину, платформенные деформации образуются в связи с суперпозицией разнородных сил и процессов. Согласно этой точке зрения, платформенные деформации рассматриваемой области имеют направленный характер развития, обусловленный эволюцией Байкальской и Арктической геодинамических систем и давлением литосферных плит и блоков одновременно [21, 22, 32, 33]. Результаты наших исследований показывают реалистичность представлений В.И. Макарова и других исследователей.

Южная часть территории исследований принадлежит к Алтае-Саянской области новейшего эпиплатформенного горообразования (орогену). Она состоит из нескольких орогенов относительно меньшего размера – Кузнецко-Алатауского, Восточно- и Западно-Саянского.

Границы Восточно-Саянского орогена отчетливо проявлены в рельефе и отложениях. По простиранию с северо-запада на юго-восток ширина орогена постепенно увеличивается: соот-

ветственно в районе г. Красноярск она составляет 200 км, в верховье р. Казыр – 400 км. Очевидно, интенсивность поперечного сжатия на северо-западе орогена выше, чем на юго-востоке. Происхождение сжатия связывают с интенсивным давлением, наведенным с юго-запада со стороны Алтайских и Тянь-Шаньских орогенов [23]. Это сжатие постепенно ослабевает с северо-запада на юго-восток вдоль Восточно-Саянского орогена с одновременным усилением напряжений растяжения, которые генерируются Байкальской рифтовой зоной. Напряжения растяжения приводят к росту и расширению орогена на юго-востоке с одновременным образованием свода.

Восточно-Саянский ороген в целом имеет асимметричное строение: у него довольно крутой северо-восточный склон со стороны Байкальской рифтовой зоны и относительно пологий юго-западный. Северо-восточный склон Восточного Саяна по Главному Саянскому разлому сопряжен с Рыбинской впадиной. Вдоль него установлено овальное поднятие Идарского Белогорья, которое, снижаясь в северо-западном направлении, продолжается в район Ачинска и Вознесенки и далее близ Енисея сопрягается с Лопатинским платообразным поднятием. Зона сопряжения этих структур относится к категории сейсмоактивных, поскольку принадлежит одной из ветвей Главного Саянского разлома. Вероятно, она продолжается в северо-западном направлении в сторону Западно-Сибирской плиты, поскольку линейные формы рельефа в ее пределах имеют устойчивое простирание, согласное с восточносаянскими неотектоническими деформациями.

В юго-западном склоне Восточных Саян отчетливо выделяется несколько структурно-геоморфологических провинций, резко дискордантных по неотектоническому строению. Здесь развиты структуры северо-западного простирания и субширотные структуры, включающие в себя Минусинские впадины. Как правило, они сочленяются друг с другом по неотектоническим разломным зонам. Наиболее контрастная и выразительная дислокация этого склона – Удинский (Кижинский) разлом. Он ограничивает с юго-запада наиболее высокое Удинское поднятие Восточных Саян и далее в северо-западном направлении поднятия Канского и Манского Белогорий. В северо-западном направлении этот разлом постепенно затухает, не достигая Северо-Минусинской впадины и долины Енисея. При этом цепь поднятий Восточного Саяна продолжается в виде куполообразного Курбатово-Сырского Белогорья.

Юго-западная граница Восточно-Саянского орогена по геодинамическим и морфо-кинематическим характеристикам более принципиальна по сравнению с северо-восточной границей, представленной Главным Саянским разломом. Эта граница имеет более высокий сейсмотектонический потенциал: в ее пределах генерируются очаги сильнейших землетрясений [27].

Обширная область Алтае-Саянского орогена в целом имеет сложное сводообразное строение. Меловые и палеогеновые полигенетические поверхности выравнивания, установленные в границах сопряжения впадин и поднятий, повышаются от их границ к центру горных сооружений соответственно с 300 м до 2000 м и более. Своим повышением, стремящимся к центральным частям поднятий, они подчеркивают сводообразное строение отдельных орогенов – Восточно- и Западно-Саянского и Кузнецко-Алатаусского. В то же время эти поверхности нарушены вертикальными смещениями по разломам. В результате в орогенах выделяется ряд второстепенных поднятий и прогибов, что позволяет многим исследователям относить их к глыбам или блокам, осложняющим эти орогены [12, 17]. Как правило, границы блокоразделов отвечают палеозойским разломным зонам, активизированным в новейшее время. В наиболее приподнятых центральных частях орогенов контрастность смещений по блокоразделам резко возрастает. В продольных профилях рр. Кан, Казыр и др., текущих поперек простирания таких разломов, устанавливается ступенчатость. Ее происхождение связывается с движениями, происходящими по древним разломам. Подобными разломами значительной амплитуды отделено альпийское высокогорье от расположенного южнее Прорвинского среднегорья.

По морфологическим, геодинамическим и сейсмотектоническим особенностям Восточно-Саянский ороген разделяется на три структурных звена, простирания поперек Восточно-Саянского орогена северо-западного простирания: 1) Удинско-Бирюсинское, 2) Канско-Манское и 3) Северо-Западное.

Удинско-Бирюсинское структурное звено – самое южное и находится в створе со структурами Западного Саяна и Тоджинской впадины и выражено поднятиями и прогибами северо-восточного простирания. Они образуются вследствие глубинной активности Байкальской геодинамической системы [21]. Прямые признаки этой активности – излияние базальтовых неоген-четвертичных магм, что позволило А.Ф. Грачеву отнести эти структуры к категории предрифтовых [5]. Кроме

того, в этом звене отмечается усложнение неотектонического рисунка с образованием структур типа pull-apart, что позволяет другим исследователям связывать их происхождение с движениями литосферных плит и блоков [28].

Канско-Манское структурное звено расположено севернее Западно-Саянского (Минусинского) разлома, отвечающего северному фронту высоких поднятий Западно-Саянского орогена, в створе с Южно-Минусинской впадиной. Звено представлено высокой деформированной ступенью, постепенно снижающейся в северо-западном направлении. Ее строение осложняется системой поперечных разломов северо-восточного простирания, отчасти наследующихся рр. Ман и Кан, и поднятиями-изгибами, подчеркивающими сводовую форму Восточно-Саянского орогена.

Северо-Западное структурное звено – самое северное и наименее высокое в Восточно-Саянском орогене. Оно находится в створе с Рыбинской впадиной на востоке и с Северо-Минусинской и Назаровской впадинами на западе. Восточный Саян на границе с Западно-Сибирской плитой ограничивается флексурно-разрывной зоной запад-северо-западного простирания, которая западнее в районе Ачинска и Анжеро-Судженска приобретает широтное простирание. Структуры Алтае-Саянского орогена и Западно-Сибирской плиты характеризуются здесь несогласным (торцовым) сочленением друг с другом. В нем возникают условия для концентрации повышенных напряжений и деформаций, что приводит к увеличению сейсмического потенциала этой зоны в целом.

В Алтае-Саянском орогене происходит образование разломов, относящихся к сейсмоактивным [17–19]. Возраст их не везде одинаков. В районе р. Казыр часть разломов имеет неоплейстоценовый возраст (800 тыс. лет). Как правило, они хорошо выражены в рельефе в виде уступов, относящихся к категории тектонических. Уступы хорошо дешифрируются на космо- и аэрофотоснимках, на которых устанавливается, что они приурочены к границам отдельных глыб (блоков) или поднятий. Они часто согласуются с древними разломными зонами. К подобным зонам относятся северный фас Западного Саяна, северо-восточный фас Восточного Саяна, южные границы поднятий Батеневского кряжа и Белькского Белогорья. По ним происходят относительные контрастные перемещения на фоне роста горного свода. В прогибах накапливаются избыточной мощности делювиально-пролювиальные и аллювиально-озерные отложения, сносимые с поднятий. Склоны под-

нятий в этом случае несут следы интенсивного эрозионно-денудационного воздействия.

Тектонический уступ северного фаса Восточного Саяна между городами Канск и Красноярск образовался в середине неотектонического этапа. Он также проявлял свою активность в более позднее время – плиоцен-четвертичное. Между г. Красноярск и участком р. Кан этот уступ распадается на ряд левосторонних кулис – линейных выступов и понижений, которые хорошо дешифрируются на аэрофотоснимках. Понижения выполнены верхне-четвертичными отложениями озерного и террасового происхождения. В этой связи тектонический уступ считается активным поныне.

Вдоль северного фаса Западно-Саянского орогена интенсивные дифференцированные движения устанавливаются в позднечетвертичное время. Крутой прямолинейный тектонический уступ, местами поднимающийся над Минусинской впадиной на 400 м, имеет “свежий” морфологический облик. Он почти лишен чехла рыхлых склоновых отложений, что дает основание датировать его активность позднечетвертичным временем.

Подновление или активизация палеозойских разломов устанавливается по согласным с ними уступам. В правобережье Енисея в Сыдо-Ербинской впадине и Григорьевско-Знаменитовской зоне Кузнецкого Алатау установлены Кортузская и Байтакская активизированные древние разломные зоны с уступами. У их подножья широко развиты плиоценовые делювиально-пролювиальные конуса выноса и шлейфы, сложенные “красноцветами”. В этой связи возраст их активизации считается плиоценовым. На основании подобного анализа установлено, что Азыртальский палеозойский разлом, ограничивающий с юга Батеневский кряж, активизировался с образованием уступа в начале четвертичного периода.

О высоком сейсмическом потенциале рассматриваемой территории свидетельствуют наблюдаемые остаточные палеосейсмодислокации, установленные в нескольких пунктах Восточного Саяна [27]. Один пункт расположен на водоразделе правых притоков р. Казыр, руч. Гришин и Горелой речки у северного фаса Западного Саяна. Здесь отмечен ров шириной 30 м, глубиной до 10 м, протяженностью 150 м. Он по своей морфологии отнесен к “раскрытому” разлому-очагу, т.е. сейсмодислокации, характерной для эпицентральных зон землетрясений интенсивностью в 8 баллов и выше. Другой пункт палеосейсмодислокаций описан в верховье р. Агул у Главного Саянского разлома. Здесь устанавливаются об-

вально-оползневые нагромождения сейсмогравитационного происхождения.

Формирование Алтае-Саянского орогена рассматривается с двух точек зрения: 1) как реакция древних покровно-складчатых комплексов земной коры на латеральное воздействие инденторного характера со стороны удаленной Индийской литосферной плиты, в том числе обрамляющих ее поднятий Тибета, Тарима и Джунгарии, и 2) как современная эволюция Байкальской геодинамической системы, приводящая к сводообразованию и рифтогенезу.

От принятой точки зрения часто зависит характер морфо-кинематической интерпретации активных и сейсмоопасных разломных зон. Если считать, что разломы Восточного Саяна, главным образом Главный Саянский, образуются в условиях устойчивого во времени латерального давления, наведенного с юго-запада со стороны Индийской литосферной плиты в направлении на северо-восток, то его следует считать правосторонним взбросом [25]. Если формирование этого разлома продолжается в связи с эволюцией Байкальской геодинамической системы, то его следует относить к левосторонним сбросам. В этой связи сейсмический потенциал этих разломов следует оценивать по-разному.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

Территория исследования характеризуется следующими закономерностями и особенностями строения.

Границы древних разнородных платформенных и складчатых структур – это зоны высокоинтенсивных складчатых и разломных дислокаций. Среди них максимально дислоцирована краевая зона Сибирской платформы, сочлененная с Западно-Сибирской плитой и Алтае-Саянским орогеном. Она выражена Енисейским и Бирюсинским поднятиями, ограниченными разломными зонами. Относительно меньше дислоцирована граница Западно-Сибирской плиты и Алтае-Саянского орогена, выраженная Аргинской флексурно-разломной зоной. Неотектонические деформации наследуют эти границы с образованием в рельефе высокоградиентных уступов и зон структурных несогласий – геодинамически активных зон.

Между платформенными структурами северной половины территории исследования и орогенными структурами южной половины впервые выделена Алтае-Санская периорогенная зона. Ее образование связывают с напряжениями сжатия, наведенными с юга со стороны Алтае-Саянского

орогена. Интенсивность деформаций в ней выше, чем во внутренних областях платформ, но значительно ниже, чем в областях новейшего орогенеза. По этой причине сейсмический потенциал этой зоны достаточно высок, что следует учитывать при оценке геодинамической безопасности территории захоронения токсичных отходов и проектировании инженерных сооружений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Варламов И.П., Кузин И.Л., Найденова Н.Е. и др. Объяснительная записка к карте новейшей тектоники Западно-Сибирской плиты. Красноярск: КНИИГиМС, 1969. 65 с.
2. Геология СССР. Т. XV. Красноярский край. М.: Недра, 1961. 815 с.
3. Гоникберг В.Е. Линеаменты Саяно-Тувинской области // Космическая информация в геологии. М.: Наука, 1983. С. 242–249.
4. Грачев А.Ф. Новейшая тектоника Северной Евразии. Объяснительная записка к карте новейшей тектоники Северной Евразии масштаба 1: 5 000 000. М.: ГЕОС, 1998. 147 с.
5. Грачев А.Ф. Новейшая тектоника, геодинамика и сейсмичность Северной Евразии. М.: Пробел, 2000. 487 с.
6. Золотарев А.Г. Влияние новейшего внутриконтинентального орогенеза на платформы // Геодинамика внутриконтинентальных горных областей. М.: Наука, 1990. С. 103–112.
7. Карта активных разломов СССР и сопредельных территорий. Масштаб 1:8 000 000 / Ред. В.Г. Трифионов. Москва–Иркутск. 1986.
8. Карта активных разломов Северной Евразии. Масштаб 1:2 500 000 / Гл. ред. В.Г. Трифионов. М.: ОИФЗ РАН, 1996.
9. Карта новейшей тектоники Западно-Сибирской равнины. Масштаб 1:2 500 000 / Ред. И.П. Варламов. Новосибирск: СНИИГиМС, 1967.
10. Карта новейшей тектоники нефтегазоносных областей Сибири. Масштаб 1:2 500 000 / Ред. Н.А. Флоренсов, И.П. Варламов. Новосибирск: СНИИГиМС, 1978.
11. Карта новейшей тектоники Северной Евразии. Масштаб 1:5 000 000 / Ред. А.Ф. Грачев. М.: ОИФЗ РАН, 1997.
12. Карта новейшей тектоники СССР и сопредельных областей. Масштаб 1:5 000 000 / Ред. Н.И. Николаев. М.: Мингео СССР, 1979.
13. Карта новейшей тектоники юга Восточной Сибири. Масштаб 1:1 500 000 / Под ред. А.Г. Золотарева, П.М. Хренова. М.: Мингео СССР, 1981.
14. Карта разломов территории СССР и сопредельных стран. Масштаб 1:2 500 000 / Гл. ред. А.В. Сидоренко. М.: Мингео СССР, 1978.

15. Карта разломов юга Восточной Сибири / Ред. П.М. Хренов. М.: Мингео СССР, 1988.
16. Кузнецов С.С. Геология СССР. М.: Госгеолтехиздат, 1960. 355 с.
17. Лобацкая Р.М. Неотектоническая разломно-блоковая структура зоны сочленения Сибирской платформы и Западно-Сибирской плиты // Геология и геофизика. 2005. Т. 46. № 2. С. 141–150.
18. Лукина Н.В. Основной каталог разломов Алтае-Саянской области // Современная геодинамика Альпийско-Гималайского коллизионного пояса. Тр. ГИН РАН. Вып. 541. М.: ГЕОС, 2002. С. 203–212.
19. Лукина Н.В. Поля напряжений некоторых районов внутриконтинентальной Азии // Матер. Всерос. совещ. “Современная геодинамика и опасные природные процессы в Центральной Азии”. Вып. 3. Иркутск: ИЗК СО РАН, 2005. С. 125–128.
20. Лучицкий И.В. О соотношении флексур с разломами и складками // Геол. сб. Львов. геол. о-ва. 1956. № 2–3. С. 56–71.
21. Макаров В.И. Активные глубинные деформации и сейсмичность литосферы новейших подвижных поясов // Основные проблемы сейсмотектоники. М.: Наука, 1986. С. 36–39.
22. Макаров В.И. Региональные особенности новейшей геодинамики платформенных территорий в связи с оценкой их тектонической активности // Недра Поволжья и Прикаспия. Вып. 13 (специальный). Саратов: НВНИИГиГ, 1996. С. 53–60.
23. Makeev V.M. Кузнецкая перигоренная область: неотектоническая зональность и геодинамические условия образования. М.: ГЕОС, 2008. 148 с.
24. Несмеянов С.А., Воейкова О.А. Активные разрывы в зоне сочленения юга Сибирской платформы и Западно-Сибирской плиты и их значимость для строительства // Геоэкология. 2008. № 3. С. 197–213.
25. Николаев Н.И. Новейшая тектоника и геодинамика литосферы. М.: Недра, 1988. 491 с.
26. Тектоно-формационная карта Алтае-Саянской области. Масштаб 1:1 000 000 / Ред. А.Л. Яншин. М., Новосибирск: Мингео СССР, СНИИГГиМС, 1969.
27. Солоненко В.П. Сейсмическое районирование Восточной Сибири и его геолого-геофизические основы. Новосибирск: Наука, 1977. 304 с.
28. Трифонов В.Г., Соболева О.В., Трифонов Р.В., Востриков Г.А. Современная геодинамика Альпийско-Гималайского коллизионного пояса // Тр. ГИН РАН. Вып. 541. М.: ГЕОС, 2002. 225 с.
29. Хаин В.Е. Эпи платформенные орогенные пояса // Жизнь Земли. М.: СГУ, 1971. № 7. С. 34–44.
30. Хаин В.Е. Региональная геотектоника. Внеальпийская Азия и Австралия. М.: Недра, 1979. 356 с.
31. Шатский Н.С. О структурных связях платформ со складчатыми геосинклинальными областями. Сравнительная тектоника древних платформ // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1947. № 5. С. 39–66.
32. Щукин Ю.К. Глубинная сейсмотектоника Северной Евразии // Недра Поволжья и Прикаспия, 1996. № 13 (Спец. вып.). С. 6–10.
33. Щукин Ю.К. Геофизические исследования в сейсмоопасных зонах СССР // Основные проблемы сейсмотектоники. М.: Наука, 1986. С. 10–24.

STRUCTURAL AND GEODYNAMIC CONDITIONS IN THE JUNCTION ZONE BETWEEN THE SIBERIAN PLATFORMS AND THE ALTAI-SAYAN OROGEN

V. M. Makeev, S. V. Grigor'eva

*Sergeev Institute of Environmental Geoscience, Russian Academy of Sciences
Ulanskii per. 13, bld. 2. Moscow, 101000 Russia. E-mail: vmakeev@mail.ru*

The structural and geodynamic conditions in the junction zone between the West Siberian plate, the Siberian platform and the Altai-Sayan orogenic area, which represent heterogeneous structures of different age, are studied in connection with the disposal of toxic waste from the Krasnoyarsk mining and chemical enterprise. The geodynamic safety of this territory is assessed proceeding from the study of ancient structures, including faults of various morphological and kinematic types, as well as neotectonic deformations. The scheme of structural-geodynamic zoning is compiled showing the neotectonic flexure structures and the major active faults from the single viewpoint of geodynamic system evolution.

Keywords: *neotectonic structures, structural and geodynamic zoning, active faults, flexure deformation, lineaments, platform and orogenic structures, deep geodynamic systems.*