

УДК 551.248.2(438) + 551.4.04

ISSN 1812-5220
© Проблемы анализа риска, 2017

Учет опасных геоморфологических процессов в зонах разломов при экологическом проектировании трассы магистрального газопровода

С. Б. Кузьмин,
Институт географии
им. В. Б. Сочавы СО РАН,
г. Иркутск

Аннотация

Рассмотрена возможность современной и голоценовой активизации разломов в платформенных тектонических условиях на равнинных территориях. Такие разломы представляют геоморфологическую опасность для крупных хозяйственных объектов, например линейных сооружений, таких как магистральные трубопроводы. В качестве примера проанализирована степень геоморфологической опасности активных разломов для проектируемой трассы магистрального газопровода «Ковыкта — Иркутск» в Иркутской области. Теоретической основой исследований послужили авторская концепция природной опасности и риска и модель типов структур опасных геоморфологических процессов.

Ключевые слова: опасные геоморфологические процессы, активные разломы, магистральные трубопроводы, Южная Сибирь.

Содержание

Введение

1. Объекты, методы и процедура исследований
2. Геоморфологическое строение зон разломов
3. Возраст, кинематика и амплитуды смещений
4. Интегральная оценка геоморфолого-геодинамической опасности разломов

Заключение

Литература

Введение

Сегодня экологическое сопровождение, проектирование и управление является неотъемлемой частью крупных народно-хозяйственных проектов, направленных на использование природных ресурсов. Освоение месторождений углеводородов с большими запасами сырья сопряжено со строительством линейных сооружений — трубопроводов, обеспечивающих транспорт исходной продукции (нефти, газа и газового конденсата) от мест добычи к местам переработки. Магистральные трубопроводы имеют значительное протяжение (до нескольких тысяч километров) и пересекают множество геолого-геоморфологических

структур, по отношению к которым их технические характеристики и в конечном счете производительность и надежность эксплуатации могут быть существенно уязвимыми. Для нормального функционирования трубопроводной системы требуется оценка возможного риска от развития опасных природных процессов, в т. ч. геоморфологических.

Активные разломы являются одними из основных опасных геологических структур, которые пересекают трубопроводы и представляют серьезную опасность как для самих хозяйственных объектов, так и для сопутствующей производственной инфраструктуры и жизни людей, задействованных в реализации этих народно-хозяйственных проектов. Прежде всего, эта опасность связана с сейсмическими процессами в зонах разломов, которые порождают сильные землетрясения за счет смещения блоков земной коры по плоскостям разломных структур. Тектонические движения — быстрые (землетрясения) и медленные (тектонический крип) — опосредуют возникновение множества других аномальных явлений, в т. ч. активизируют опасные геоморфологические процессы, такие как обвалы, оползни, сели и др. Геоморфологическая выраженность активных разломов является как главным средством их индикации, так и главным критерием их опасности для человека и хозяйства.

Зоны активных разломов и элементы их внутренней структуры имеют своеобразное геоморфологическое выражение [6—8, 16]. Тектонические подвижки отражаются в морфологии и морфометрии рельефа, особенностях строения современных ландшафтов, а их следы достаточно долгое время сохраняются [11, 22, 25]. Это открывает возможности для использования рельефа и современных геоморфологических процессов в качестве индикаторов активности разломов в четвертичном периоде. Разделить тектонический и экзогенный (структурный или климатический) рельеф на практике не всегда просто, поскольку сами тектонические деформации рельефа сохраняются с геологической точки зрения недолго, однако их геоморфологический эффект проявляется перманентно, индицируя в т. ч. нетипичные для областей пассивной тектоники геоморфологические процессы и явления.

Это определяет важность использования геоморфологических методов для анализа активности

разломов, которые представляют опасность для магистральных трубопроводов не только непосредственно, как, например, приуроченные к ним землетрясения, могущие привести к разрывам труб — самым серьезным видам аварий. Подвижки по активным разломам, пусть и не сейсмогенерирующие, могут активизировать целый комплекс процессов — осыпи, обвалы, суффозию, плановые деформации русел и др. Они не менее опасны для линейных сооружений, а их воздействие может вызывать различные виды аварий: деформации опор и подвесок, выход из строя вентилей и запорной арматуры, нарушение функционирования газоперегонных станций, пунктов контроля давления, дорожных и водных переходов, в т. ч. и разгерметизацию трубы. Поэтому при геоморфологической характеристике зон разломов следует уделять внимание не только непосредственным следам тектонических подвижек, но и всем процессам, которые могут угрожать безопасности и нормальному функционированию трубопровода, представляются нетипичными для данной морфологии рельефа, а их активность не соответствует локальной или региональной геоморфодинамической ситуации.

1. Объекты, методы и процедура исследований

При выработке геоморфологических критериев тектонической опасности зон разломов использовалась следующая широко распространенная градация активных разломов: *слабоактивные* — движения по разлому происходили в течение плиоцен-четвертичного времени; *активные* — движения происходили в течение позднего плейстоцена (последние 130—140 тыс. лет); *активные на современном этапе* — движения происходили в течение голоцена (последние 11 700 лет) [16, 19]. С геодинамической точки зрения эти разломы считались соответственно неопасными, потенциально опасными и опасными.

Рассмотрим типичную процедуру выбора геоморфологических критериев геодинамической опасности активных разломов на примере проектируемого магистрального газопровода «Ковыкта — Иркутск». Трубопровод соединит Ковыктинское газоконденсатное месторождение с промышленно развитыми и густонаселенными городами Иркут-

ской области для переработки и потребления газа и его производных. Проектирование газопровода осуществляется Восточно-Сибирской газовой компанией, а с 2009 г. — компанией «Газпром». Газопровод состоит из двух сегментов: «Ковыкта — Саянск» субширотного направления и «Саянск — Иркутск» субмеридионального направления. В данной работе приведены оценки для 20 зон активных разломов, 19 из которых расположены на участке «Саянск — Иркутск» и 1 — на участке «Ковыкта — Саянск» на пересечении трубопроводом долины р. Илги (рисунк).

Цель исследований — дать характеристику опасных геоморфологических процессов в зонах разло-

мов, предположительно активных, осуществить поиск геоморфологических критериев оценки степени их активности на современном этапе, в голоцене и позднем плейстоцене.

Задачи исследований: 1) общая геоморфологическая и ландшафтная характеристика зон разломов и окружающих их территорий; 2) оценка морфометрических и морфологических параметров зон активных разломов по геоморфологическим критериям; 3) выявление геоморфологических реперов, маркеров и критериев для оценки активности зон разломов — возраста и амплитуды тектонических деформаций; 4) интегральная геоморфологическая оценка смещений по активным разломам, опасных для проектируемого газопровода.

В методическом плане использованы как методы полевых геоморфологических исследований, так и анализ дистанционного материала: топографических и тематических карт, космических изображений. В методологическом плане изучались имеющиеся у ВСГК и «Газпром» данные по строению, динамике и кинематике разломов: структурно-геологические, тектонофизические, геофизические и др. В дальнейшем этот комплекс данных ложился в основу выбора мест геоморфологического изучения: точечных и маршрутных исследований, закладки геоморфологических профилей и т.д. Полевая и дистанционная информация позволила провести геоморфологический анализ зон разломов, типизировать их по степени геодинамической опасности и синтезировать рекомендации по защите от опасных процессов.

Составлена специальная таблица (табл. 1), в которой отражены основные характеристики изученных зон разломов, время последней активизации, положение в системе ярусности рельефа, характеристика грунтов в зоне разлома (в некоторых случаях и на соседних территориях), выделены опасные геоморфологические процессы и охарактеризованы условия, в которых они наиболее активизируются. В табл. 1 указана протяженность не всего разлома, а только его активизированного сегмента, непосредственно примыкающего к трассе трубопровода или пересекающего его, которая определялась по результатам полевых наблюдений.

Время последней геодинамической активизации разлома устанавливалось по относительной геохро-

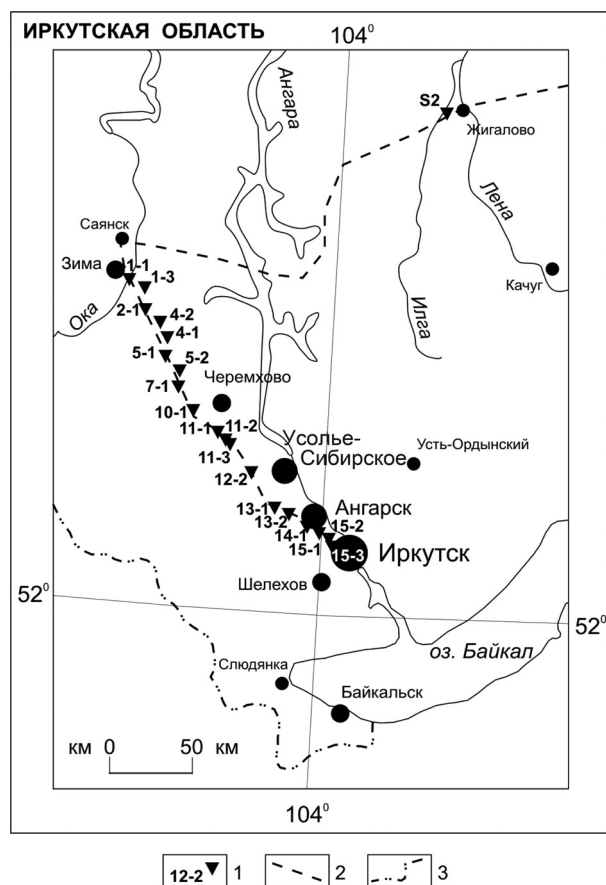


Рисунок. Исследуемый участок трубопровода. Южные районы Иркутской области: 1 — изученные зоны разломов; 2 — проектируемая трасса газопровода «Ковыкта — Иркутск»; 3 — административная граница Иркутской области

Геоморфологическая характеристика активных сегментов зон разломов вдоль трассы газопровода «Ковыкта — Иркутск» Таблица 1

Номер разлома	Общая длина, км	Ярус рельефа	Морфология и морфометрия сегментов в зоне разлома					Опасные экзогенные геологические процессы	Грунты	Примечания
			сегмент	длина, км	ширина, м	ориентация, град.	расчлененность, м			
1-1	2,4	Пойменно-долинный	Главное русло р. Оки	1,2	400	45—50	Дно реки, 1—3	Эрозия глубинная и боковая	Рыхлые несвязные. Русловый аллювий (гравийно-галечный)	Русловые талины, наледи, заторы и заторы
			Низкая пойма, острова Пронин, Чулин и более мелкие	0,8	600		1—4	Подтопление, заболачивание, плановые деформации русла	Рыхлые связные. Суплини, оторфованные суплини. Рыхлые несвязные. Супеси, песчано-галечные	При паводках на р. Оке, наледи, заторы вод
			Высокая пойма на техногенных землях	0,4	300		5—7	Опылы, переувлажненных грунтов	Рыхлые несвязные. Супеси, пески. Техногенные (галечно-гравийные), дорожные покрытия	При высоких паводках на р. Оке и техногенном воздействии
1-3	3,6	Склоновый	Крутой склон долины р. Оки (около 20°)	1	150	160—170	35—40	Осыпи, осыви, эрозия плоскостная	Полускальные. Алевролиты выветрелые. Рыхлые связные. Суплини. Рыхлые несвязные. Супеси	Склоны залесены, и активизация опасных процессов возможна при вырубке деревьев
			Склон долины р. Оки. Уступ более 30°	1,2	200	170—180	55—60	Осыпи, блоки отседания, эрозия плоскостная, суффозия	Полускальные. Алевролиты выветрелые. Рыхлые несвязные. Супеси, песчано-древяные	
			Склон долины р. Оки. Уступ более 40°	1,4	250	5—15	65—70	Осыпи, блоки отседания, обвалы, суффозия, дефляция	Полускальные. Алевролиты выветрелые. Рыхлые несвязные. Песчано-древяные	
2-1	6	Пойменно-долинный	Узкий суходольный лог	2	300	70—75	20—25	Эрозия линейная глубинная	Рыхлые несвязные. Суплини. Супеси	Территория представляется собой в основном техногенные земли. Опасные процессы могут быть спровоцированы только человеком
		Склоновый	Приводораздельный пологий склон	1	200	65—70	10—15	—	Рыхлые несвязные. Суплини. Супеси. Песчано-древяные. Разнообразные техногенные грунты вдоль железных и автодорог, а также в районе ст. Делюс	
4-1	1	- // -	Склон долины р. Харатун средней крутизны	3	350	70—75	45—50	Эрозия плоскостная, частично линейная по делам		
			Уступ более 35°	1	150	30—35	55—60	Осыпи, отседание блоков, обвалы, оползни	Рыхлые несвязные. Суплини, галечники, пески. Полускальные. Алевролиты. Галечники	В весенний период и при техногенном воздействии

Таблица 1 (продолжение)

Номер разло- ма	Общая длина, км	Ярус рельефа	Морфология и морфометрия сегментов в зоне разлома					Опасные экзогенные геологические процессы	Грунты	Примечания
			сегмент	длина, км	ширина, м	ориен- тация, град.	расчле- ненность, м			
4-2	3	- // -	Уступ в правом борту долины р. Унги более 30°	1,8	150	165—170	45—50	Осыпи, оползни, боковая эрозия	Полускальные. Алевролиты	Опасность усугубля- ется боковой эрозией р. Унги
5-1	3	Пойменно- долинный	Узкий лог мелкого распадка	1,2	200	165—170	45—50	Оврагообразование. Глубинная эрозия	Рыхлые несвязные. Супеси, пески	Активизация, особен- но в весенний период
		Склоновый								
5-2	3,4	- // -	Уступ в правом борту долины р. Хаптагун	0,8	200	340	55—60	Осыпи, блоки отседа- ния, осовы, боковая эрозия	Рыхлые несвязные. Супеси. Су- глинки. Полускальные. Песчанки	Активизация про- цессов весной и при техногенном воз- действии
				0,6	300	20				
				2	350	340	75—80			
7-1	1,4	Склоновый	Придолинный уступ р. Ноты	0,4	100	20	10—15	Боковая эрозия, оползни	Рыхлые несвязные. Супеси, пески. Рыхлые связные. Торфяники. Скальные. Доломиты	Активизация про- цессов возможна при техногенном воздействии
				1	150	80	5—7	Заболачивание. Опльвы. Пучение грунтов		
10-1	2	Пойменно- долинный	Русло балки	2	150	35	10—15	—	Рыхлые связные. Суплилки, глины. Рыхлые несвязные техногенные. Супеси, гравий	—
11-1	1,4	- // -	Узкий суходольный лог	1,4	100	55	15—20	Линейная глубинная эрозия	Рыхлые несвязные. Суплилки	Активизируется весной
11-2	2,2	- // -	Высокая терраса р. Белой	2,2	—	80	3—5	—	Рыхлые несвязные. Суплилки. Супеси	—
11-3	6	- // -	Высокая терраса р. Белой	6	—	90	5—10	—	Рыхлые несвязные. Пески, супеси	—
12-2	1	Склоновый	Присклоновые мелкие уступы р. Тельминки	1	100	345	25—30	Боковая и плоскост- ная эрозия, суффозия	Рыхлые несвязные. Супеси. Тех- ногенные. Галечно-гравийные	Активизируются только на нарушен- ных землях

Таблица 1 (окончание)

Номер разлома	Общая длина, км	Ярус рельефа	Морфология и морфометрия сегментов в зоне разлома					Опасные экзогенные геологические процессы	Грунты	Примечания
			сегмент	длина, км	ширина, м	ориентация, град.	расчлененность, м			
13-1	3,2	- // -	Уступ долины р. Биликтуйки 45 м	0,4	300	0	60—70	Блоки отседания, просадки, суффозия, плоскостная эрозия	Рыхлые связные. Глины. Рыхлые несвязные. Супеси. Полускальные. Песчанники	Процессы активно протекают в настоящее время
			Уступ долины р. Биликтуйки 25 м	1,2	250	20	50—60	Суффозия, просадки, плоскостная эрозия	Рыхлые несвязные. Супеси, пески. Полускальные. Песчанники	Процессы слабоактивны
			Крутой склон долины р. Биликтуйки	1,6	150	20	40—50	Суффозия, плоскостная эрозия		Возможны при техногенном воздействии
14-1	1,6	- // -	Уступ (1,6 км) в правом борту долины р. Ады	1,6	250	40	160—180	Линейная эрозия по деллам, осыпи, сели, осы, боковая эрозия	Рыхлые несвязные. Пески. Рыхлые связные. Глины, суглинки	Осыпи, сели, осывы только при техногенном воздействии
			Уступ на южном склоне	1,2	100	100	65—70	Плоскостная эрозия, суффозия, оползни	Рыхлые связные. Суглинки, глины. Рыхлые несвязные. Супеси, пески, гравий	Эрозия и оползни только при техногенном воздействии
15-2	5	- // -	Крутой склон долины р. Черный Ключ	1,2	150	90	45—50	Плоскостная эрозия, суффозия, блоки отседания, оползни		
			Уступ правого борта р. Еловки	3	300	15	100—120	Осыпи, обвалы, суффозия	Полускальные. Песчанники	Особенно активизируются при техногенном воздействии
			Водораздельная грива	0,3	100	10	5—10	—	Рыхлые несвязные. Супеси. Суглинки	
			Мелкий распадок	0,6	150		25—30	Глубинная эрозия	Полускальные. Песчанники	
15-3	3	- // -	Дно долины р. Еловки	1,1	100	15	4—6	Заболочивание, подтопление, боковая эрозия	Рыхлые связные. Суглинки, торф	
			Уступ правого борта долины р. Мерет	3	250	10	35—40	Осыпи, боковая эрозия, отседание блоков, суффозия	Рыхлые несвязные. Суглинки, супеси. Полускальные. Песчанники	Активизируются при техногенном воздействии
			Уступ правого борта долины р. Илги	0,8	150	355	30—35	Осыпи, отседание блоков, суффозия	Рыхлые несвязные. Супеси, пески. Техногенные — старые пашни. Полускальные	Особенно активизируются при техногенном воздействии
S2	0,8	- // -								

нологической шкале, которая применительно к нашим исследованиям имеет следующие градации. *Современная активизация* — последние 500 лет; *исторический период (поздний голоцен)* — 500—3000 л.н.; *голоцен (ранний и средний)* — 3000—11 700 л.н.; *поздний плейстоцен* — 11 700—126 000 л.н.; *средний плейстоцен* — 126 000—781 000 л.н.; *ранний плейстоцен* — 781 000—1 806 000 л.н.¹ Временные рубежи приведены здесь в соответствии с Международной геохронологической и климатостратиграфической шкалой четвертичного периода — Global Boundary Stratotype Sections and Points. v. 2004 b SACCUM INQUA [21].

Ярусы рельефа приведены в соответствии с классическими геоморфологическими построениями [5, 14]. Выделены три наиболее общих яруса рельефа: водораздельный, склоновый, пойменно-долинный. Это позволяет не только выявлять экзодинамические следствия тектонических движений по разломам, т.е. предполагаемый набор опасных процессов и форм рельефа, но и высказывать предположения о возрасте активизации.

Морфологические параметры включают сегментацию разломов. Изученные разломные зоны не всегда имеют простое строение с одним главным сместителем. В некоторых случаях в пределах зоны разлома в рельефе выделяется несколько парагенетически связанных фрагментов, которые иногда имеют достаточно отличное простирание или даже пересечение друг с другом. В этих случаях приводилась характеристика каждого из выделенных сегментов. В морфологическом плане для каждого сегмента приведена конкретная форма рельефа, на которой он развит (например, пойма, терраса, склон, дно лога, уступ и т.п.).

Морфометрические параметры включают длину и ширину зон разломов по геоморфологическим критериям, ориентацию линии главного сместителя. Использован параметр вертикальной расчлененности рельефа в зоне разлома. Перепад высот является наиболее информативной характеристикой для зон сбросовых разломов, в районе распространения крутых склонов и уступов, т.к. показывает

потенциальную энергетику экзодинамических процессов, их вероятную активность и, следовательно, опасность для газопровода.

Характеристика грунтов приведена в табл. 1 (по 20 и на основе полевых исследований) как собственно в зоне разлома, так и в некоторых случаях на соседних территориях. Выделены грунты рыхлые (связные и несвязные), полускальные и скальные. Определены также гранулометрический и механический составы грунтов, на основе которых выделены их группы: глины, суглинки, супеси, пески и т.д. Особо отмечены техногенные грунты, дорожные покрытия, строительные площадки и т.п. Эти характеристики позволяют судить о реологических свойствах среды, в которой происходит развитие зон разломов [13].

Наиболее важную группу в табл. 1 составляют выделенные опасные геоморфологические процессы. Они определены в основном как потенциальные, которые предположительно могут активизироваться в зонах тех или иных разломов в результате инженерно-технических мероприятий по строительству и эксплуатации газопровода. В примечаниях в таблице указаны условия, при которых может произойти эта активизация.

2. Геоморфологическое строение зон разломов

На основе полевых и дистанционных методов детально изучено геоморфологическое строение всех зон разломов, однако в настоящей статье приведено описание лишь наиболее примечательных элементов. В других случаях адресуем читателя в основном к табл. 1.

Разлом 1-3 непосредственно трассу газопровода не пересекает, но расположен в правом борту долины р. Оки и формирует ее придолинный нестабильный в морфодинамическом отношении уступ. Его характеристика и количественная характеристика уступов в зонах других изученных разломов представлены в табл. 1.

Особая актуальность изучения разлома 4-1 обусловлена тем, что в 1993 г. в этом районе произошла авария на магистральном нефтепроводе «Омск — Ангарск». Причину аварии усматривали в т.ч. и в действии активных разломов. Полевое геоморфологическое обследование не выявило явных

¹ Столь детальные цифры возрастов (до тысяч лет) взяты непосредственно из Международной геохронологической шкалы 2004 г., хотя такая высокая точность в значительной степени условна.

признаков современной или позднечетвертичной геодинамической активности разлома. Но несколько в стороне от изучаемого участка на дистальном продолжении разлома 4-1 на автомобильной дороге М53, проходящей вдоль крутого склона узкого субмеридианального лога, действительно происходят деформации асфальтного полотна в виде его пучения и искривления. Полотно ремонтируется каждые 2—3 года. Прямых разрывных деформаций асфальта не обнаружено, что связано с постоянным ремонтом и подновлением дороги. Однако следы валов пучения и изгибы полотна дороги очевидны.

Анализ дистанционных материалов позволил получить несколько косвенных признаков активности разлома 4-1: 1) уступ очень крутой и при этом короткий; 2) на нем постоянно активизируются склоновые процессы, несмотря на залесенность; 3) подножие уступа наиболее крутое, что является четким признаком активных сбросов; 4) уступ опирается на небольшой суходольный лог, который не в состоянии обеспечить развитие геодинамических процессов на нем; 5) выше уступа рельеф резко выполаживается и переходит в плоскую гриву; 6) без подновления подобные уступы выполаживаются до углов 8—10° за 30—40 тыс. лет [23].

В отношении разлома 5-2, расположенного в долине р. Хаптагун, следует сказать, что, с одной стороны, явных следов разломной тектоники в рельефе нигде в районе разлома не обнаружено, с другой стороны, уступ разлома достаточно крутой, на нем развиваются ложбины стока и плоскостная эрозия. Это является, конечно, лишь косвенным признаком активизации разлома в голоцене или на современном этапе, но заставляет с особым вниманием отнестись к инженерно-геологическим условиям проложения трассы газопровода. Собственно тектонические подвижки в зоне разлома слабые, но при сведении леса и экспонировании грунтов они в совокупности с экзодинамикой могут активизировать целый комплекс опасных склоновых процессов: сели, плоскостная эрозия, отседание блоков и т.п., тем более что установлен факт активизации плоскостной эрозии на обнаженной поверхности уступа.

Разлом 7-1 располагается в долине р. Ноты и является одним из наиболее интересных объектов. Поверхность уступа вдоль разлома относительно ровная, частично залесена (березовый лес

50—60-летнего возраста). На незалесенных участках формируются живые осыпи из щебнисто-дресвянистого грунта с мелкими глыбами, развиваются плоскостная эрозия и плоскостные оползни. Поверхностный слой грунтов (до 1—2 м) на уступе нестабилен и находится в постоянном движении и динамическом напряжении, о чем говорит тот факт, что и на залесенных участках деревья (березы) имеют искривленную форму. Сами деревья при большом возрасте низкорослые, угнетенные, их комлевые части изогнуты вниз по склону.

Удивительно то обстоятельство, что при столь активных склоновых процессах под уступом не накапливается делювиальный шлейф. Река Ноты обладает слишком слабой гидродинамической активностью, и ее современное русло располагается достаточно далеко от уступа для того, чтобы она могла сносить осадочный материал. Объяснить отсутствие шлейфа малой высотой уступа также невозможно, поскольку нам известны случаи, когда и при меньшей высоте уступов (10—15 м) у их подножия накапливались делювиальные шлейфы мощностью до 2—2,5 м [9]. Растительность практически не сдерживает движение осадочного материала по склону. Это позволяет предположить, что склоновые процессы активизировались в недавнем прошлом (несколько сотен лет назад) и просто прошло еще недостаточно времени для формирования мощного делювиального шлейфа.

Далее по простиранию на уступе обнаружен оползень. Угол наклона стенки его отторжения местами достигает до 80°, а иногда он отвесный. Очевидно, что было несколько этапов оползневых смещений, но все они имели место не позднее 120—150 лет, поскольку вся поверхность оползня и уступа поросла сосновым лесом возрастом не моложе 100—120 лет.

Далее по простиранию уступ переходит в крутой склон, а затем в склон средней крутизны. Его ориентация изменяется с северо-восточной на восточную. На поверхности склона уже нет сплошного залесения, как на уступе; встречаются небольшие колки березового леса. Березы старые, 70—80-летнего возраста, следовательно, и сухолуговые открытые пространства между ними такого же возраста. Есть все основания предположить, что такой ландшафт был типичен для этого склона и в более раннее вре-

мя. Рядом же на оползне растет плотный сосновый лес. Этот факт сам по себе свидетельствует о том, что оползень формировался в несколько стадий, но достаточно быстро, возможно, в течение нескольких лет (максимум — десятков лет) на склоне, по ландшафту подобном соседнему остепненному склону. После оползнеобразования сформировались благоприятные локальные ландшафтные (экологические) условия для расселения молоди сосны (западины, увлажненный промывной режим почвы, снижение альбедо поверхности). В результате плотный одновозрастной сосновый лес вырос в нетипичных для него региональных ландшафтных и экологических условиях.

Рассмотренный выше склон средней крутизны по диагонали секут старые рвы с азимутом простирания 90° . Глубина рвов достигает 0,3—0,5 м, ширина различна: в первом случае это два параллельных рва шириной 0,8 м, во втором — один ров шириной 2,5 м. Рвы протягиваются от подножия склона до места перехода его в плоский водораздел. О природе рвов можно сказать, что, возможно, они тектонического происхождения, в пользу чего свидетельствует их отчетливая прямолинейность, косое сечение склона, выпучивание грунта между рвами. На космоснимках хорошо проявлены в естественных элементах ландшафта только два отрезка в правом борту долины р. Ноты с простиранием на 20° (протяженность 0,4 км) и 80° (протяженность 1 км). Возможно, это и есть подновленные сместители, но разных разломов. Элемент с простиранием на 20° — это описанный выше оползень и крутой осыпной склон. Их природа нам уже ясна. Элемент с простиранием на 80° может оказаться активным разломом. Только в первом случае мы будем иметь сброс, во втором — скорее всего, сдвиг.

Большой интерес представляет разлом 13-2 в долине р. Биликтуйки. Долинный комплекс здесь представлен поймой и 2 террасами. Склоновый комплекс: левый северный склон долины пологий, правый — крутой, местами с уступами. Водораздельный комплекс представлен плоскими обширными поверхностями, частично залесенными, частично лес сведен, и территория используется в сельскохозяйственных целях. Дистанционные материалы свидетельствуют о том, что разломная зона располагается вдоль уступа правого борта долины

р. Биликтуйки, а на остальной территории признаков разломной тектоники не отмечается. Тем не менее нами была изучена вся долина реки с помощью полевых методов.

На левом пологом борту долины р. Биликтуйки I терраса выражена отчетливо, но подвержена активной техногенной переработке. Высота ее — 4—5 м, ширина — 100—120 м. Поверхность террасы неровная в силу как естественных, так и антропогенных причин, местами заболочена. Кроме техногенных нарушений встречаются формы реликтового криогенного ландшафта сартанского оледенения позднего плейстоцена. Этот факт позволяет предположить, что терраса сформировалась в позднекаргинское время (30 000—25 000 л.н.). Следов разломной тектоники на террасе не обнаружено. I терраса прослеживается и на правом борту долины, где ее высота составляет 3—4 м, а ширина — 60—100 м. Здесь I терраса имеет несколько достопримечательностей: 1) она не несет следов реликтового криогенеза; 2) по абсолютной высоте на 1—2 м ниже своего левобережного аналога; 3) не заболочена, хорошо сдренирована. Эти особенности имеют важное структурно-геоморфологическое следствие, являясь косвенными признаками современного и голоценового тектонического опускания всего правобережного блока от подножия уступа до русла реки. Именно повышенная геодинамическая активность этого блока приводит к тому, что: 1) I терраса на правом берегу ниже, чем на левом; 2) на ее поверхности за счет большей активности экзогенных процессов уже удалены реликты сартанского криогенеза; 3) само тело террасы более проницаемо за счет движения грунтов по локальным разломным сместителям, а ее подошва не создает водоупора, поэтому терраса менее заболочена и лучше сдренирована, чем на левом берегу.

II терраса выражена отчетливо только на левом борту долины р. Биликтуйки, техногенным деформациям не подвержена, покрыта березово-сосновым лесом 80—100-летнего возраста. Высота ее составляет 3—4 м, ширина — 250—300 м. Поверхность II террасы намного ровнее поверхности I террасы и не нарушена криогенными процессами. Последнее обстоятельство позволяет предположить, что II терраса сформировалась в раннекаргинское время потепления (50 000—45 000 л.н.). Размыв

между двумя террасами, таким образом, приходится на оптимум каргинского интрастадиала (около 35 000 л.н.), когда активность геоморфологических и тектонических процессов в Прибайкалье пошла на спад [2, 10].

Вдоль плоскости уступа (осевой зоны разлома) на правом борту долины р. Биликтуйки развиты живые оползни и рвы расседания. Сама плоскость уступа при постоянстве угла наклона к горизонту разворачивается веером и становится выпуклой в сторону опущенного крыла разлома. В одной из точек наблюдения на уступе зафиксирован целый комплекс (серия) разновозрастных блоков отседания общей площадью около 1000 м².

Зона разлома 14-1 интересна тем, что располагается на крутом уступе в правом борту долины р. Ады, который хорошо просматривается на космоснимке. Уступ покрыт сосново-березовым лесом 200—250-летнего возраста и задернован. Высота его составляет 160—180 м. По всей поверхности уступа отмечаются перпендикулярные его простиранию ложбины стока — делли. Глубина их составляет 1,5—4 м, ширина достигает 8—12 м. При таянии снега и сильных дождях по деллям осуществляется активная линейная эрозия, что видно по следам размыва дна и срывам боковых стенок. Делли разделены гривами и увалами шириной до 5—8 м. При этом крутизна боковых стенок деллей заметно больше, чем самого уступа и достигает в отдельных случаях 55—60°. Отмечаются даже невысокие (0,5—1 м) стенки подмыва, что является свидетельством боковой эрозии собственно по ложбинам стока. Тем не менее при таком крутом склоне следов разломной тектоники не обнаружено.

Но на просеке, сооруженной в рекреационных целях (горнолыжная трасса) в районе дома отдыха, в результате вырубki леса на уступе отмечается крайне высокая активизация экзогенных процессов. Поверхность уступа обнажена, лес полностью вырублен. Подрост постоянно вырубается для поддержания трассы в рабочем состоянии. По всей просеке в результате обнажения крутой поверхности активно развита плоскостная и линейная эрозия. Активный склоновый снос рыхлого материала (в том числе селевой) привел к накоплению в подножии уступа подгорного делювиально-пролювиального шлейфа. Видимая мощность суглинков

на срезе просеки составляет 3,5—4 м. На поверхности шлейфа отмечаются овраги глубиной до 0,5 м и шириной до 0,3—0,5 м. У самого подножия уступа на окраине шлейфа отмечаются свежие пролювиальные (селевые?) выносы суглинистого материала мощностью до 20—30 см. А общая мощность подгорного шлейфа может составлять до 10 м.

В целом тектоническая активность на уступе в правом борту долины р. Ады отсутствует. Но высокоактивны геоморфологические процессы: на нарушенном склоне — линейная и боковая эрозия по ложбинам стока, на нарушенном склоне — линейная эрозия по оврагам, активный плоскостной смыл, сели, боковая эрозия с подрезкой шлейфа и некоторые другие. Сами по себе эти процессы представляют большую опасность для трубопровода [24].

Разлом S2 располагается вдоль крутого уступа правого борта долины р. Илги. Активность склоновых процессов достаточно высокая. Но задет ими только приповерхностный слой до 1 м. Крупных форм оползания или срыва грунта нет. Под уступом старое русло р. Илги только частично заболочено, брошено 2—3 тыс. л.н. Это русло в момент функционирования и определило активную боковую эрозию и подмыв склона, сформировав уступ (эскарп). Далее к северо-западу в 300 м уступ немного увеличивается по высоте до 30 м и сохраняет все свои признаки, описанные выше. Вероятная кинематика разлома S2 — сброс. Амплитуды за атлантическое время не превышают первых метров.

В поперечном к уступу направлении к северо-востоку рельеф приобретает черты сначала склона средней крутизны, а еще далее — вновь располагается уступ с углами наклона поверхности до 35—40°. Нижний придолинный уступ мог сформироваться в атлантический период голоцена (8500—4500 л. н.), когда во влажном и теплом климате происходило активное врезание рек. В это время русло р. Илги проходило непосредственно под уступом. Склон между уступами является перекошенной древней террасой.

На топографической карте 1:25 000 замечено, что на левом берегу р. Илги ее I терраса приподнята в результате тектонических движений, так как старое русло реки разделено с современным перемычкой высотой 2—3 м. На правом берегу долины р. Илги все элементы пойменно-террасного ком-

плекса разрушены рекой или человеком, но на левом берегу они сохранились в виде разрозненных фрагментов I террасы, приподнятых в результате тектонических движений и разрушенных эрозией. Брошенное русло р. Илги также имеет валообразный перегиб по простиранию. Все эти события можно привязать к атлантическому периоду голоцена, так как приподнятые террасы и придолинные уступы выглядят молодыми, а деформации их поверхности — свежими. В основном происходило площадное тектоническое воздымание территории, которое и активизировало многие геоморфологические процессы не только в самой долине р. Илги, но и на склонах, и на водоразделе.

3. Возраст, кинематика и амплитуды смещений

Установление возраста последней активизации и кинематики изученных разломов — наиболее сложный вопрос. Надежные возрастны́е реперы в изученном районе в большинстве случаев отсутствуют. Главная причина этого кроется в низкой активности разломов, которые располагаются в типичных платформенных геодинамических условиях с относительно спокойным тектоническим режимом. Частые причины, мешающие зафиксировать геоморфологические следы смещений по разломам, — слабая геологическая обнаженность территории, низкая контрастность рельефа, т.е. вертикальная и горизонтальная расчлененность. В дополнение к этому платформенный рельеф территории геодинамически инертен, его отклик на тектонические движения более слабый и растянут во времени по сравнению с горными областями Южной Сибири, где рельеф мобильный, чутко реагирует на малейшие проявления геодинамической активности [15, 17, 18]. Так или иначе соображения о возрасте смещений базировались, как правило, на относительном возрасте форм рельефа и рыхлых отложений.

Примерно также обстоит дело и с кинематикой разломов. Платформенные условия, инертность и низкая энергетика рельефа, высокая степень антропогенной освоенности территории и слабая сохранность естественного ландшафта не позволяют в некоторых случаях даже приблизительно судить о кинематике и амплитудах смещений по зонам разломов. Казалось бы, в случаях с уступами амплитуда

должна определяться достаточно просто — по высоте уступа. Но следует иметь в виду, что практически все уступы в изученных зонах разломов имеют накопленную амплитуду, причем накопленную за достаточно длительный промежуток времени, часто выходящий за временные рамки всего четвертичного периода.

Еще сложнее обстоит дело со сдвигами. Их геоморфологические следы сохраняются крайне непродолжительное время. Оно часто не превышает несколько сотен лет, в лучшем случае тысяч лет. Если в горных условиях большие скорости сдвигов заставляют речные долины испытывать коленообразные изгибы, которые являются надежным индикатором сдвига, то в платформенных условиях низкие скорости смещений и консервативность рельефа позволяют рекам перестраиваться под новый геодинамический режим и сохранять морфометрические параметры долин и русел без изменения. И даже если коленообразные изгибы русел и долин фиксируются, утверждать, что они имеют тектоническую природу, нельзя, так как такие изгибы в широких платформенных речных долинах часто связаны со структурно-геологическими и литологическими, а не тектоническими факторами [1, 4, 16].

Поэтому в полевых условиях обнаружить прямые геоморфологические следы смещений по разломам можно фактически только для последних 500—600 лет. В случае с долгоживущими формами рельефа и дистанционными критериями активности разломов встает серьезный вопрос возрастной привязки, поскольку геохронологическое их разделение возможно без сомнений только в исключительных случаях.

В отношении рыхлых отложений также возникают проблемы. Во-первых, сама геологическая обнаженность рыхлых отложений очень низкая на всей изученной территории. Во-вторых, мощность рыхлых толщ вне пойменно-долинных комплексов редко превышает первые метры, и анализу могут быть подвергнуты собственно только делювиальные и пролювиальные плащи, неинформативные в плане геохронологии [3, 12], а в пойменно-долинных условиях рыхлые отложения за счет высокой пластичности релаксируют тектонические напряжения без разрывных деформаций. В-третьих, трещиноватость в рыхлых отложениях (особенно стратифици-

рованных толщах речных долин) на 90—95% имеет экзогенную природу [13, 16], и вычленив в таких условиях тектоническую трещиноватость или тектонические смещения рыхлых осадков без риска впасть в ошибку крайне затруднительно.

Эти соображения заставляют относиться к исследованиям возраста последней активизации и ки-

нематики разломов с осторожностью, считать их приблизительными.

Геоморфологические следы современной активизации обнаружены только в 3 зонах из 20 изученных разломов (табл. 2). На них следует обратить повышенное внимание при сооружении трассы газопровода. Тревогу должны вызывать также зоны

Морфогеодинамическая характеристика разломов

Таблица 2

Номер разлома	Кинематика	Амплитуда смещений, м	Скорость смещений*, мм/год	Возраст последней активизации	Критерии оценки возраста
1-1	Сдвиг	1400	—	Средний плейстоцен	Коленообразный изгиб русла р. Оки
1-3	Сброс	50	—	Поздний плейстоцен	Крутой уступ, совпадающий с осевой зоной разлома
2-1	Сдвиг	?	—	Дочетвертичный	**
4-1	Сброс	60	5,2	Современный	Деформации асфальтового покрытия автомобильной трассы М53
4-2	Сброс	15	1,3	Исторический	Деформации и спрямление придолинного уступа, четкое спрямление молодого лога, парагенезис с разломом 4-1
5-1	Сдвиг	?	—	Дочетвертичный	**
5-2	Сброс	60	—	Поздний плейстоцен	Крутой уступ, совпадающий с осевой зоной разлома, резкие перегибы естественных элементов ландшафта
7-1	Сброс	30	2,6	Современный	Живые осыпи, блоки отседания и оползни на уступах, рвы на склонах
10-1	Сдвиг	?	—	Дочетвертичный	**
11-1	Сброс	7	0,6	Голоцен	Уступы на склонах среднеголоценового возраста
11-2	Сдвиг	?	—	Дочетвертичный	**
11-3	Сброс	?	—	Дочетвертичный	**
12-2	Сдвиг	500	—	Средний плейстоцен	Смещения осевых линий мелких распадков
13-1	Сброс	45	3,9	Современный	Современные блоки отседания и оползни на уступах, рвы-отторженцы на теле оползней
13-2	Сброс	?	—	Дочетвертичный	**
14-1	Сброс	180	—	Ранний плейстоцен	Крутой уступ не совпадает с осевой зоной разлома
15-1	Сброс	25	2,1	Голоцен	Террасированные склоны, смещения по локальным разломам других направлений, но в зоне этого разлома
15-2	Сброс	40	—	Ранний плейстоцен	Спрявление некоторых геоморфологических элементов пойменно-долинного комплекса
15-3	Сброс	50	—	Средний плейстоцен	Спрявленный характер русла р. Мегет
S2	Сброс	35	3,1	Исторический	Деформации позднеголоценовых террас

* За период голоцена для разломов, возраст последней активизации которых не старше голоцена.

** Отсутствие натурных и дистанционных геоморфологических критериев активности разломов, эрозионно-денудационный, в отдельных случаях структурно-эрозионный, рельеф платформенного типа с низкой энергетикой, развитие типичных зональных ландшафтов, преимущественно реликтовый рельеф.

разломов, активизированные в историческое время и в голоцене. Они обладают высокой потенциальной геодинамической активностью. Опасения следует адресовать и к разломным зонам, активизированным в позднем плейстоцене: правый борт долины р. Оки и правый борт долины р. Хаптагун. В рабочем порядке с применением специальных технических решений должны решаться вопросы с разломами, активизированными в среднем и раннем плейстоцене. Разломы, которые не проявили признаков активности в четвертичном периоде, могут быть исключены из дальнейшего специального рассмотрения на предмет безопасности.

Амплитуды и скорость смещений, кинематика разломных зон отражены в табл. 2. Голоценовая активизация доказывается однозначно только у сбросов. Для этой группы разломов рассчитана скорость тектонических смещений, отнесенная ко всему периоду голоцена. По показателю скорости можно судить об относительной активности разломов.

Амплитуды тектонических смещений вдоль других разломов скоррелировать между собой очень трудно, поскольку невозможно определить хотя бы относительно промежутков времени, за который эта амплитуда могла накопиться. Более того, для целой группы разломов (2-1, 5-1, 10-1, 11-2, 11-3, 13-2) в результате как натурных, так и дистанционных исследований вообще никаких геоморфологических реперов обнаружено не было, так что судить об амплитуде смещений в их зонах нет никакой возможности. Этот факт служит свидетельством того, что данные зоны разломов не активизировались в четвертичном периоде.

4. Интегральная оценка геоморфолого-геодинамической опасности разломов

Для интегральной оценки активности зон изученных разломов осуществлена их типизация на основе двух групп критериев: 1) натурные; 2) дистанционные. Первая группа учитывает зарегистрированные в полевых условиях проявления опасных геоморфологических процессов и явлений: оползни, блоки отседания, рвы-отторженцы, деформации террас, плановые деформации русел и т.п. Вторая группа критериев учитывает элементы рельефа и в целом ландшафта, которые дешифрируются

на крупномасштабных топографических картах и спектрональных космических изображениях и имеют отношение к разломной тектонике: спрямленные морфологические элементы, изменение характера растительности, антропогенных составляющих ландшафта (сельскохозяйственных, техногенных и т.п.), цветовые вариации пойменно-долинных ландшафтов, склонов, водоразделов и т.д.

Результаты полевых наблюдений сведены в табл. 3. Сумма баллов, отражающая общее количество опасных геоморфологических процессов в зоне разлома, — первый индикатор геодинамической опасности. В результате выделены три генерации разломов по степени геодинамической опасности при максимальной сумме баллов, равной 7: 1) опасные — сумма баллов 3 и более; 2) потенциально опасные — сумма баллов 1—2; 3) неопасные — сумма баллов 0, т.е. в полевых условиях опасные геоморфологические процессы в зоне разлома не зафиксированы (см. табл. 3). Вторым индикатором — сумма баллов, полученная в результате оценки дистанционных критериев (см. табл. 3). Среди них выделены: 1) спрямленные элементы естественного ландшафта, подчеркивающие линии разломных сместителей, они отделялись от спрямленных элементов антропогенного ландшафта: границы пахотных земель, искусственных водоемов, лесных рубок, терриконов, дороги, ЛЭП, трасс трубопроводов, траншеи, насыпи и др.; 2) резкие перегибы и плановые деформации элементов ландшафта в зонах сдвиговых разломов; 3) резкие границы спектров цвета, которые не встречаются на окружающей территории и являются нетипичными для региональной ландшафтной ситуации; 4) резкие сгущения изогипс рельефа на крупномасштабных топографических картах, особенно в случае одновременной их прямолинейности и контрастности с окружающими ландшафтами; 5) контакты резко отличных друг от друга ландшафтов, в том случае, если таковая контрастность обусловлена литологическими и морфогенетическими условиями, а не природно-климатическими изменениями; 6) контакты ярусов рельефа, так как они являются главными точками и линиями изменения энергетики рельефообразующих процессов и характера массо- и энергопереноса в ландшафте; 7) деформации антропогенных элементов ландшафта, в том

Геоморфологическая опасность разломов

[illegible]

случае если доказана естественная тектоническая природа этих деформаций.

На основе анализа табл. 3 выделены три генерации зон разломов по степени геоморфологической и геодинамической опасности при максимальной сумме баллов 14: 1) опасные — сумма баллов 7 и более; 2) потенциально опасные — сумма баллов 2—6; 3) неопасные — сумма баллов 0—1. Разлом считался опасным, если как минимум половина натуральных и дистанционных геоморфологических критериев указывает на его активность.

В группу потенциально опасных разломов попали те, которые были активизированы в течение плейстоцена, за исключением разломов в долине р. Унги (4-2) и в распадке в долине р. Белой (11-1), последняя активизация которых была возможна в раннем голоцене. Амплитуды смещений по этим разломам определены в одних случаях более, в других менее однозначно, но они не могут быть скоррелированы между собой, так как остается открытым вопрос, к какому геологическому временному отрезку следует их относить. Тем не менее наличие определенного числа натуральных и дистанционных геоморфологических критериев их активности, а также геоморфологических реперов, фиксирующих плейстоценовые подвижки, позволяет отнести эти разломы к потенциально опасным для газопровода.

В группу опасных разломов вошли все те, которые были активны в современный и исторический период или в течение голоцена. Все они имеют

сбросовую кинематику, для них рассчитаны амплитуды и скорости тектонических смещений за голоцен (табл. 4).

Наиболее опасным является разлом в долине р. Биликтуйки (13-1), в зоне которого обнаружено 5 прямых натуральных и 6 косвенных дистанционных критериев активности. Скорость тектонических смещений в его зоне составляет 3,9 мм/год, что несколько ниже скорости смещений в зоне разлома 4-1. Однако для разлома 13-1 исходя из общей геоморфологической ситуации следует прогнозировать нарастание тектонической активности, а для разлома 4-1 тектонический режим останется стабильным. Разлом 7-1 занимает второе место по степени геоморфологической опасности, но энергетика геодинамических процессов в его зоне уже исчерпала себя, поэтому прогнозируется снижение его активности. Разлом 4-1 — единственный из изученных разломов, который деформирует современные техногенные образования (асфальтовое покрытие на автомобильной трассе М53), причем эти деформации носят перманентный характер, поскольку ремонт асфальтового дорожного полотна производится каждые несколько лет. Все три разлома (13-1, 7-1, 4-1) активны на современном этапе и требуют особого внимания при прокладке трубопровода.

В зоне разлома S2 в долине р. Илги не зарегистрировано современных тектонических движений, тем не менее в исторический период (последние

Характеристика зон разломов, опасных для газопровода «Ковыкта — Иркутск»

Таблица 4

Номер разлома	Местоположение	Кинематика	Возраст последней активизации	Амплитуда смещений, м	Скорость смещений, мм/год	Балл геодинамической опасности	Тенденции тектонического развития
13-1	Долина р. Биликтуйки	Сброс	Современный период	45	3,9	11	Нарастание активности
7-1	Долина р. Ноты	- // -	- // -	30	2,6	10	Снижение активности
4-1	Приток долины р. Унги	- // -	- // -	60	5,2	9	Сохранение активности
S2	Долина р. Илги	- // -	Исторический период	35	3,1	9	- // -
15-1	Приток долины р. Черный Ключ	- // -	Голоцен	25	2,1	7	Снижение активности

2500 лет) разлом проявлял активность, на что указывают деформации и существенная перестройка структуры пойменно-террасного комплекса в долине р. Илги, который закончил формироваться к рубежу суббореального и субатлантического периодов голоцена (3000 лет назад). Разлом 15-1 в долине притока р. Черный Ключ также вызывает серьезные опасения. Несмотря на то что в его зоне зафиксированы геоморфологические следы только голоценовых тектонических движений (3000—11 700 л.н.), существует много косвенных критериев его активности. Более того, в его зоне зафиксирована деформация поверхности эскарпа возрастом 500—600 лет, хотя плоскость деформации и перпендикулярна плоскости основного сместителя самого разлома.

Заключение

Таким образом, все разломы, указанные в табл. 4, должны стать объектами повышенного внимания при строительстве газопровода. Для выяснения детальной картины активности, кинематики и внутреннего строения необходимы проходка геологических каналов в зонах этих разломов и проведение более детальных натурных и дистанционных геоморфологических исследований. Тренинг разломных зон следует проводить вкрест их простирания в обнаруженных в результате проведенных исследований местах проявления повышенной геодинамической активности разлома на современном этапе и в голоцене. Проходка геологических каналов рекомендуется также и для некоторых менее активных разломов (1-3, 5-2, 11-1), в зонах которых тем не менее возможно оживление опасных геоморфологических процессов и явлений. Для других разломов в случае необходимости достаточно проведение дополнительных полевых геоморфологических и структурно-геологических исследований.

Литература

- Агатова А.Р. Крупномасштабное картографирование рельефа горных стран (на примере Алтая) // Геоморфология. 2003. № 2. С. 48—60.
- Грачев М.А., Горшков А.Г., Азарова И.Н. и др. Регулярные осцилляции климата в масштабе тысячелетий и видообразование в оз. Байкал // Основные закономерности глобальных и региональных изменений климата и природной среды в позднем кайнозое Сибири. Новосибирск: Изд-во Ин-та археологии и этнографии СО РАН, 2002. С. 107—126.
- Баженова О.И., Лещиков Ф.Н., Любцова Е.М. и др. Экзогенные процессы и геоморфологический риск на Иркутско-Черемховской равнине // География и природные ресурсы. 1995. № 3. С. 38—51.
- Золотарев А.Г. Рельеф и новейшая структура Байкало-Патомского нагорья. Новосибирск: Наука, 1974. 120 с.
- Костенко Н.П. Геоморфология. М.: Изд-во МГУ, 1999. 383 с.
- Кузьмин С.Б. Геолого-структурные и геоморфологические признаки областей динамического влияния разломов // Известия вузов. Геология и разведка. 1990. № 7. С. 27—35.
- Кузьмин С.Б. Области активного динамического влияния разломов: геоморфологические аспекты // Геоморфология. 1991. № 3. С. 94—101.
- Кузьмин С.Б. Геоморфология зоны Приморского разлома (Западное Прибайкалье) // Геоморфология. 1995. № 4. С. 53—61.
- Кузьмин С.Б. Геоэкологический анализ рельефа. Иркутск: Изд-во ИГ СО РАН, 2004. 186 с.
- Кузьмин С.Б., Безрукова Е.В., Данько Л.В. Палеогеографические события Прибайкалья в позднем плейстоцене и голоцене // Структура, функционирование и эволюция горных ландшафтов Западного Прибайкалья. Иркутск: Изд-во ИГ СО РАН, 2005. С. 64—75.
- Когошвили Л.В. Живая тектоника Грузии и ее воздействие на рельеф. Тбилиси: Мецниереба, 1970. 219 с.
- Логачев Н.А., Ломоносова Т.К., Климанова В.М. Кайнозойские отложения Иркутского амфитеатра. М.: Наука, 1964. 195 с.
- Ломтадзе В.Д. Инженерная геология. Л.: Недра, 1978. 496 с.
- Мещеряков Ю.А. Рельеф СССР. М.: Мысль, 1972. 519 с.
- Нагорья Прибайкалья и Забайкалья. М.: Наука, 1974. 360 с.
- Никонов А.А. Голоценовые и современные движения земной коры. М.: Наука, 1977. 240 с.
- Плоскогорья и низменности Восточной Сибири. М.: Наука, 1971. 320 с.
- Равнины и горы Сибири. М.: Наука, 1975. 352 с.
- Трифонов В.Г. Позднечетвертичный тектогенез. М.: Наука, 1983. 254 с.
- Тржцинский Ю.Б., Козырева Е.А., Верховзин И.И. Инженерно-геологические особенности Иркутского амфитеатра. Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2005. 124 с.

21. A new 2004 International Geological Time Scale. Global Boundary Stratotype Sections and Points v. 2004 b SACCOM INQUA.
22. Arrowsmith R. Geomorphic responses and ephemeral channels to strike-slip faulting along the San Andreas fault. Whitter College Press, California. 1989. 57 p.
23. Ollier C. Tectonics and landforms. London & New York: Longman Group Ltd., 1981. 460 p.
24. Schonenberger W., Noack A., Thee P. Effect of timber removal from windthrow slopes on the risk of avalanches and rockfalls // Forest Ecology and Management. 2005. V 213. № 1. P. 197—208.
25. Sylvester A.G. Strike-slip faults // Bulletin of Geological Society of America. 1988. V. 88. № 11. P. 1666—1673.

Сведения об авторе

Кузьмин Сергей Борисович: доктор географических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории геоморфологии Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН

Количество публикаций: 194, в т. ч. монографий — 10

Область научных интересов: геоморфология, геоэкология, ландшафтоведение, рациональное природопользование, ГИС-картографирование

Контактная информация:

Адрес: 664033, г. Иркутск, ул. Улан-Баторская, д. 1

Тел.: +7 (914) 872-04-56

E-mail: kuzmin@irigs.irk.ru