

Научный отчет о выполнении исследования по гранту

Наименование Получателя	<u>Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Геологический институт Российской академии наук</u>
Наименование федерального органа исполнительной власти — главного распорядителя средств федерального бюджета	<u>Министерство науки и высшего образования Российской Федерации</u>
Внутренний номер	<u>МК-5948.2021.1.5</u>
Ученый:	<u>Зеленин Егор Александрович</u>
Тема	<u>Активная разломная тектоника Срединного хребта Камчатки</u>

Полученные за отчетный период научные (научно-технические) результаты: В отчетный период были проведены полевые работы (1) в долинах рек Быстрая и Анавгай, выполнены обобщения полевых, дистанционных и литературных материалов, позволившие сделать выводы о развитии разломов Срединного хребта на неотектоническом этапе (2). Полученные данные позволили впервые обосновать западную и северную границы надсубдукционных деформаций растяжения (3).

1) Полевые работы в отчетный период включали в себя структурно-геоморфологическую съемку деформаций экзогенного рельефа и съемку местности с квадрокоптера. Районы работ включали в себя сегменты долин рек Быстрая и Анавгай. В отличие от большинства рек, стекающих со Срединного хребта, эти долины имеют протяженные участки, простирающиеся параллельно оси Срединного хребта (Рис. 1, приложение), что позволило интерпретировать их по дистанционным данным как асимметричные грабены с главной плоскостью сместителя, протягивающейся вдоль восточного борта долин (Kozhurin, 2004).

В результате полевых работ было установлено, что предполагаемые разломные уступы не деформируют долинный комплекс форм рельефа. В районе пересечения Срединного хребта рекой Быстрой ни один из террасовых уровней на простирании предполагаемых разломов не смещен (Рис. 2, приложение). В районе пос. Эссо были исследованы долины правых притоков р. Быстрой, пересекающие борт грабена. Установлено, что

профиль восточного борта долины Быстрой имеет U-образную морфологию, соответствующую ледниковому происхождению. В целом, положение и простираие долин приурочено к прислонению плиоценовых вулканических отложений кальдеры Уксичан (Bindeman et al., 2010) и Анаунского дола (Певзнер и др., 2020) к западному макросклону Срединного хребта. По всей видимости, современный рисунок долин сформировался, когда направленный на запад сток со Срединного хребта был заблокирован вулканическими образованиями. Отдельные разломные уступы, идентифицированные по детальным дистанционным данным (Зеленин, Гарипова, 2022), не образуют непрерывной системы и в целом продолжают зону рассеянных разрывов, южнее проявленную на горном эрозионном рельефе Срединного хребта.

2) Возрастные характеристики разломной тектоники опираются на серию радиоизотопных датировок и взаимоотношении разломных уступов с ледниковыми формами рельефа. Полевые работы 2021 и 2022 года показали, что даже наиболее сохранные разломные уступы не деформируют голоценовый почвенно-пирокластический чехол и полностью эродированы в ледниковых долинах (Рис. 3, приложение). Несмотря на это, возможно существование голоценовых разрывов, например, близ вулкана Терпук (рис. 4, приложение), к сожалению, недоступных для полевого исследования в рамках этого проекта.

Структурно-геоморфологические данные были дополнены многочисленными К-Аг датировками вулканических образований Срединного хребта (Певзнер и др., 2020, 2021). Наиболее полные геометрические и кинематические характеристики были получены нами для активных разломов Анаунского и Алнейского дола (см. рис. 1). Для платоэффузивов этой территории были получены К-Аг даты в диапазоне 3.2-2.9 млн лет, тогда как вулканические постройки на плато имеют возраст от 2.2 до 0.2 млн лет (М.М. Певзнер, устное сообщение). Таким образом, накопленная деформация поверхности Анаунского дола, составляющая около 70 м (Рис. 5, приложение), соответствует горизонтальному растяжению около 60 м и средней скорости порядка 0.02 мм/год. При характерной моментной магнитуде $M_w=5.8\pm 0.2$ (Зеленин, Гарипова, 2022) величина разовой подвижки составит порядка 0.2 м (Wells and Coppersmith), что соответствует повторяемости землетрясений порядка 10 тыс. лет. Столь редкая повторяемость вполне реальна в надсубдукционных обстановках (Okada et al., 1992). Однако в вулканическом поясе Срединного хребта более вероятно не равномерное накопление деформаций, а приуроченность подвижек к эпизодам вулканизма из-за прогрева и сокращения хрупкого слоя земной коры (наиболее вероятный сценарий для разрывов вблизи вулкана Терпук (Зеленин, Гарипова, 2022)).

3) Благодаря полученным в рамках проекта полевым и дистанционным данным впервые были картированы активные разломы Срединного хребта (Зеленин, Гарипова, 2022), представляющие собой наиболее северные и западные проявления деформаций растяжения над краем зоны субдукции (Kozhurin, Zelenin, 2017). Ширина пояса деформаций увеличивается с юга на север Камчатки от 50 до 200 км. И на восточной Камчатке, и в Срединном хребте область распространения активных разломов резко ограничена с севера, и эта граница соответствует продолжению на запад оси Алеутской островной дуги (рис. 6, приложение), что подтверждает связь деформаций с зоной субдукции даже на расстоянии 400 км от современного глубоководного желоба.

Ожидаемые направления дальнейшего использования полученных за отчетный период результатов: - Полученные характеристики активных разломов (Зеленин, Гарипова, 2022) могут быть использованы в региональных работах по уточнению исходной сейсмичности и детальному сейсмическому районированию.

- На основании материалов по Анаунскому долу, полученных в рамках гранта, была предложена методика включения плохо документированных разломов в модель зон возможных очагов землетрясений (Зеленин и др., 2021) при работах по оценке сейсмической опасности

- Камчатка – уникальный пример надсубдукционных деформаций у края океанической плиты, доступный для изучения на суше. Картированные активные разломы как проявления напряженно-деформированного состояния литосферы могут быть использованы в численных геодинамических моделях деформирования Камчатки для лучшего понимания процесса отступления зоны субдукции и разрушения островодужного орогена, включая реакцию вулканизма на растяжение.

Публикации ученого за отчетный период по заявленной тематике:

№ п/п	Название публикации	Авторы публикации	Наименование издания	Тип публикации	ISSN издания/ ISBN издательства	Год издания	Примечание	Ссылка на публикацию
1	АКТИВНАЯ РАЗЛОМНАЯ ТЕКТОНИКА СРЕДИННОГО ХРЕБТА, п-ов КАМЧАТКА	Зеленин Е.А.; Zelenin E.A.; Гарипова С.Т.; Garipova S.T.	Вестник Камчатской региональной ассоциации Учебно-научный центр. Серия: Науки о Земле	научная статья	1816-5524	2022	eid: 48179928	https://elibrary.ru/item.asp?id=48179928

Выполнение заданных индикаторов в отчетном периоде:

№ п/п	Наименование индикатора	Ед. изм.	2022 г. план	2022 г. факт
1	Количество научных публикаций, подготовленных руководителем гранта (монографии, учебники, учебные пособия, статьи, тезисы докладов, другие публикации)	ед.	2	1
1.1	Количество публикаций в российских отраслевых научных изданиях, входящих в перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий РИНЦ	ед.	0	1
2	Количество докладов и сообщений на конференциях, в том числе международных, подготовленных руководителем гранта	ед.	1	0
3	Количество учебных курсов (лекции, семинары, практические занятия, лабораторные занятия), которые ведет руководитель гранта	ед.	0	0
4	Количество подготовленных диссертаций на соискание ученой степени под руководством руководителя гранта	ед.	0	0
5	Количество результатов интеллектуальной деятельности (изобретения, базы данных, полезные модели, промышленные образцы, программы для электронных вычислительных машин, ноу-хау) руководителя гранта	ед.	0	0

10.1. Комментарий к выполнению заданных индикаторов в отчетном периоде: В отчетный период по не зависящим от коллектива причинам не состоялось запланированное выступление на международной конференции EGU General Assembly. Соответственно, тезисы, подготовленные для подачи на EGU General Assembly не были опубликованы и не вошли в отчетные показатели.

Ученый

Зеленин Егор Александрович /



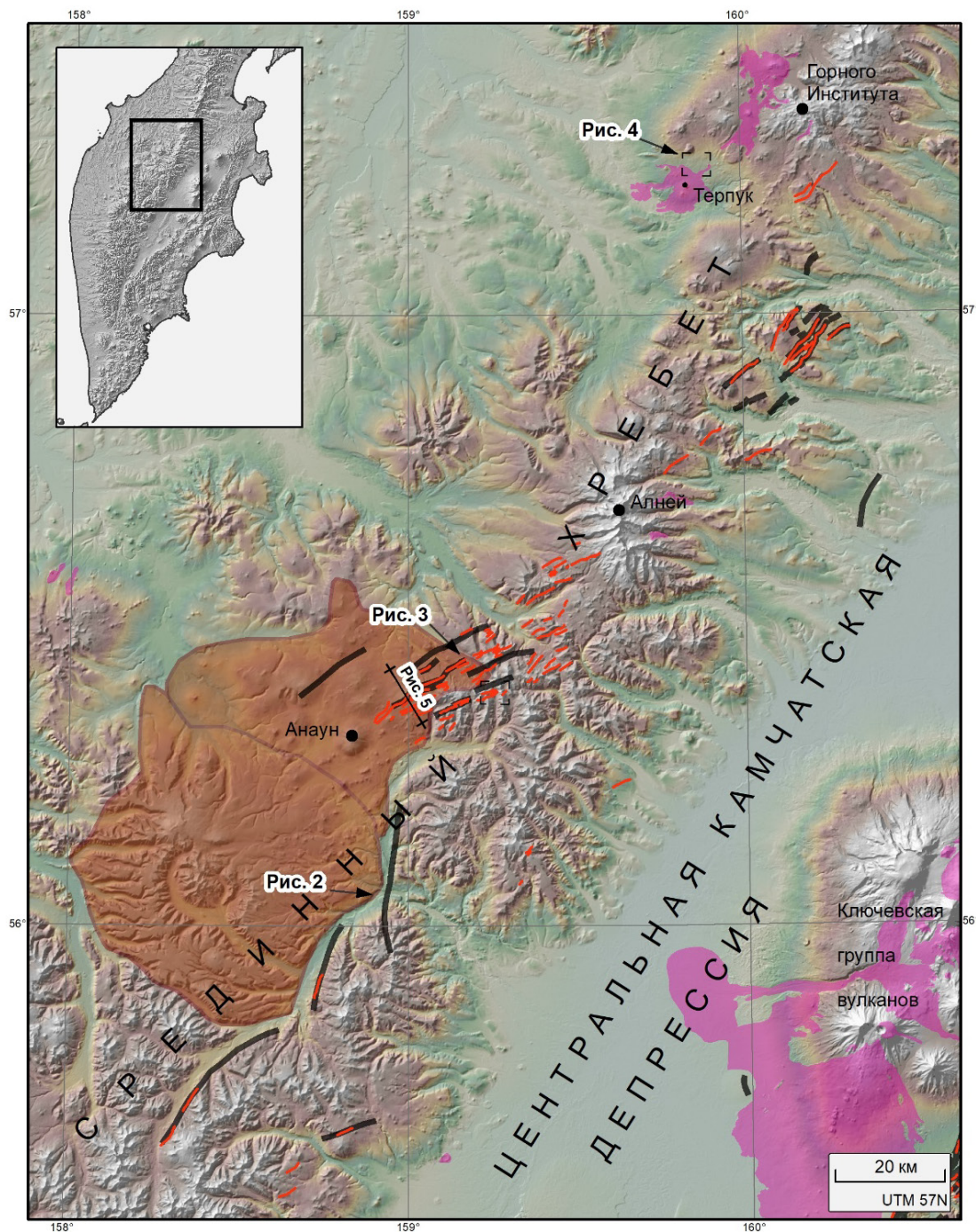


Рис. 1. Активные разломы Срединного хребта: темно-серые линии по (Kozhurin, Zelenin, 2017), красные – по (Зеленин, Гарипова, 2022). Розовая заливка – голоценовые вулканические отложения (База данных голоценового вулканизма Камчатки, <http://geoportal.kscnet.ru/volcanoes/geoservices/hvolc.php>). Коричневая заливка – плиоценовые вулканические отложения Анаунского дола и кальдеры Уксичан



Рис. 2. Пересечение р. Быстрой предполагаемого восточного борта активного грабена (по Kozhurin, 2004, Kozhurin, Zelenin, 2017)

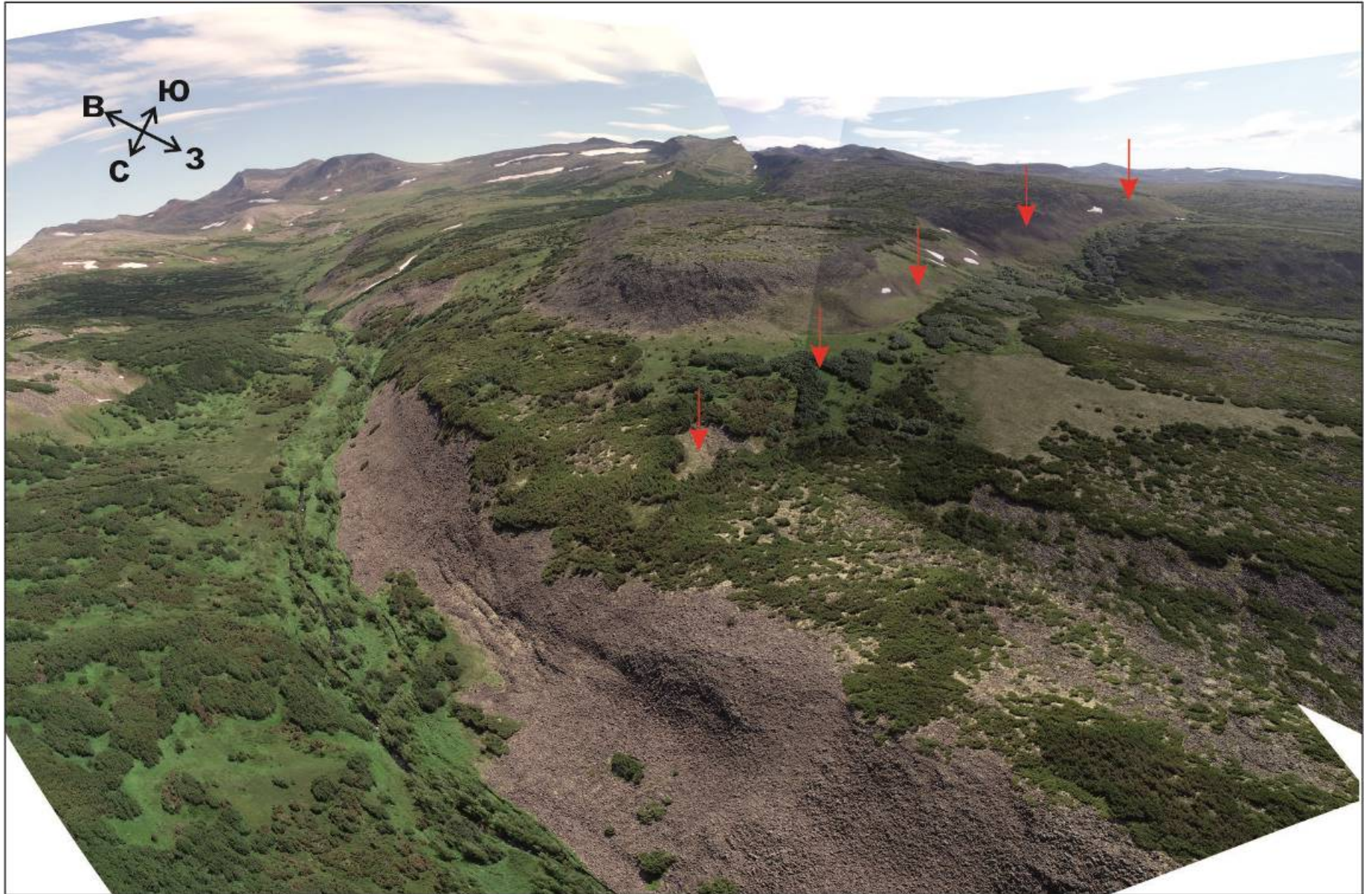


Рис. 3. Разломный уступ, деформирующий борта долины р. Правый Копкан (положение показано на рис. 1).

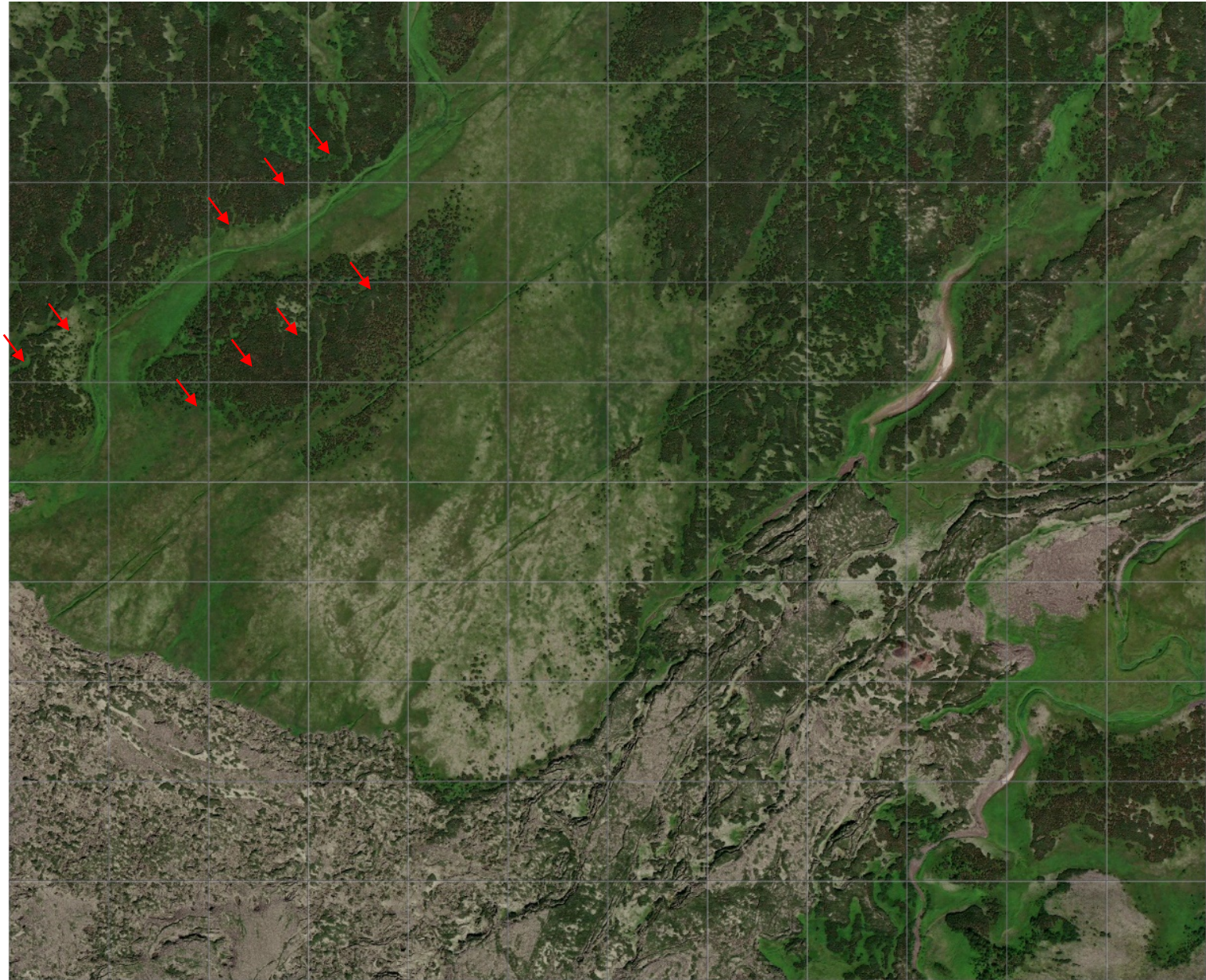


Рис. 4. Активные разломы вблизи вулкана Терпук (положение показано на рис. 1). Спутниковое изображение с сервиса ArcGIS World Imagery (<https://www.arcgis.com/home/item.html?id=10df2279f9684e4a9f6a7f08febac2a9>), координатная сетка проведена через 200 м.

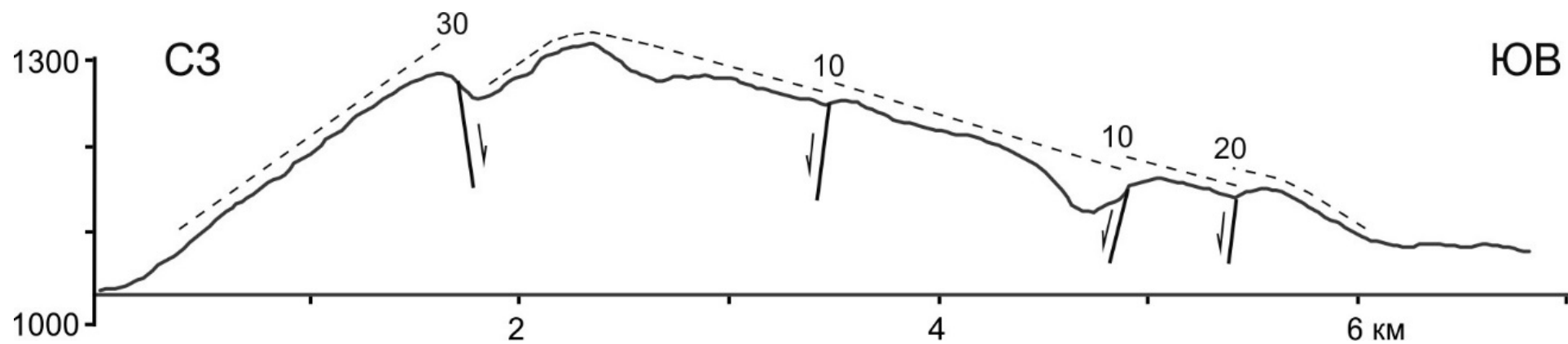


Рис. 5. Топографический профиль через Анаунский дол (положение показано на рис. 1), вертикальный масштаб преувеличен в 4 раза. Пунктирные линии аппроксимируют поверхности фрагментов плато, числа соответствуют вертикальному смещению по разломам между аппроксимирующими линиями, в метрах. Сумма смещений составляет около 70 м, что при углах падения ок. 50° (Зеленин, Гарипова, 2022) соответствует горизонтальному растяжению ок. 60 м.

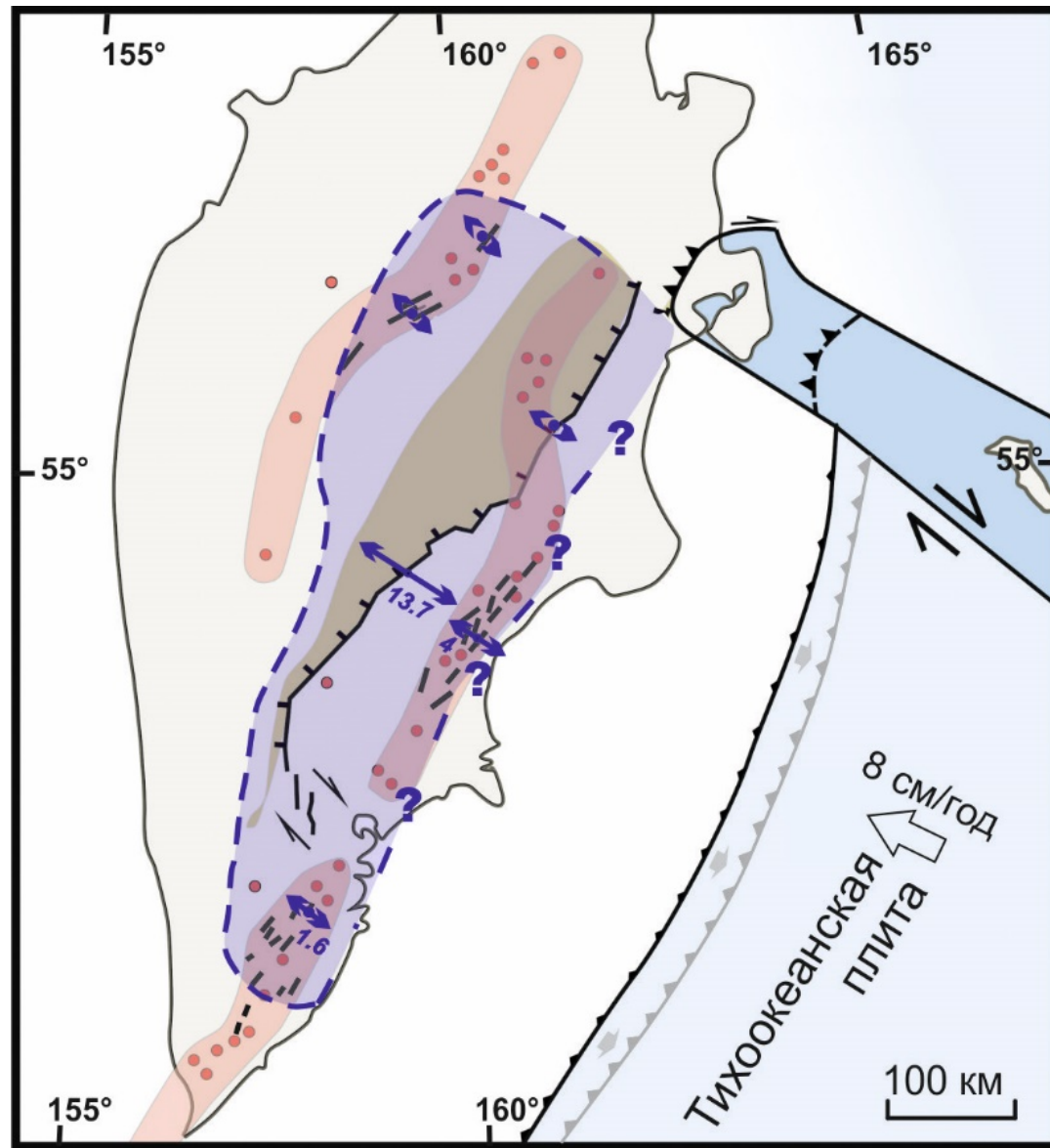


Рис. 6. Область современного растяжения (синяя заливка), вызванного отступанием глубоководного желоба (серая линия со стрелками) на структурно-геоморфологической схеме Камчатки (обозначения указаны на рис. 1б). Векторы растяжения показаны стрелками, измеренные скорости растяжения подписаны в мм/год. Данные по восточной Камчатке приведены по (Kozhurin, Zelenin, 2017), по южной Камчатке – по (Зеленин, 2017). Черные линии – активные разломы (штрихи указывают на опущенное крыло крупнейших сбросов, треугольники – на поднятое крыло крупнейших надвигов); розовая заливка – вулканические пояса; точки – центры голоценовых извержений по Базе данных голоценового вулканизма Камчатки (<http://geoportal.kscnet.ru/volcanoes/geoservices/hvolc.php>).