

УДК 551.21

СЕДАНКИНСКИЙ ДОЛ (СРЕДИННЫЙ ХРЕБЕТ КАМЧАТКИ): ИЗОТОПНЫЙ К–Аг ВОЗРАСТ ВУЛКАНОВ, ВЗАИМООТНОШЕНИЕ ВУЛКАНИЧЕСКИХ И ЛЕДНИКОВЫХ ФОРМ РЕЛЬЕФА

© 2021 г. М. М. Певзнер^{а, *}, А. О. Волюнец^б, В. А. Лебедев^с

^аГеологический институт РАН, Пыжевский пер., 7, стр. 1, Москва, 119017 Россия

^бИнститут вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, бульв. Пийпа, 9, Петропавловск-Камчатский, 684006 Россия

^сИнститут геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН,
Старомонетный пер., 35, Москва, 119017 Россия

*e-mail: m_pevzner@mail.ru

Поступила в редакцию 12.01.2021 г.

После доработки 18.03.2021 г.

Принята к публикации 23.03.2021 г.

Впервые получена серия из 10 изотопных К–Аг дат для лавовых центров Седанкинского Дола, расположенного в северной части Срединного хребта Камчатки. Установлено, что вулканизм в этом районе начал проявляться как минимум в среднем плейстоцене. Для доголоценового времени выделено четыре этапа активизация вулканизма (300–270, 180–160, 100–80 и между 50 и 12 тыс. л. н.), разделенных значительными по времени периодами покоя. Этапы, которые фиксируют начало вулканической деятельности и первую подачу базитовых магм на Долу, по-видимому, были обусловлены региональными причинами усиления эндогенной активности. Полученные геохронологические данные ставят под сомнение либо возраст, либо генезис ранее выделенных для данного района моренных комплексов I-й и II-й фаз позднеплейстоценового оледенения. Анализ литолого-петрографических и изотопно-геохронологических данных свидетельствует о том, что около 100–80 тыс. л. н. с приводораздельной части хребта сошел крупный обвал, отложения которого ранее выделялись как “морена I-й фазы”. Триггером этого события могло быть высокомагнитудное землетрясение, предвращавшее и/или сопровождавшее новый этап активизации вулканизма, на котором зафиксированы наиболее ранние излияния оливиновых базальтов.

Ключевые слова: калий-аргоновое датирование, вулканизм, землетрясения, обвалы, оледенения, Камчатка, плейстоцен

DOI: 10.31857/S0203030621040039

ВВЕДЕНИЕ

Седанкинский Дол (СД) располагается на западных склонах Срединного хребта Камчатки между верхним течением р. Седанки на юге и верховьями р. Халгинчевая на севере (рис. 1а). По данным [Вулканы ..., 1972], общая площадь СД, занятая четвертичными вулканическими образованиями, составляет около 1600 км², а объем изверженного материала — 400 км³. Среди вулканов выделяются как крупные постройки щитового типа (см. рис. 1б), так и многочисленные (около 150) шлаковые, шлаково-лавовые конусы и лавовые потоки моногенного типа. Подавляющее большинство вулканитов представлены базальтами, реже андезибазальтами. Крупнейшая вершина СД — г. Красная (2125.2 м), она представляет собой существенно лавовый стратовулкан, названный в работе [Вулканы ..., 1972] вулканом Горного института (см. рис. 1в).

СУЩЕСТВУЮЩИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О ВОЗРАСТЕ ВУЛКАНОВ: ВЗАИМООТНОШЕНИЕ ВУЛКАНИЧЕСКИХ И ЛЕДНИКОВЫХ ФОРМ РЕЛЬЕФА

До недавнего времени возраст вулканов СД оценивался только по соотношению вулканических и ледниковых форм рельефа. Наиболее детальные работы, посвященные изучению морен в районе исследования, принадлежат Н.Н. Кожемяке [Вулканы ..., 1972; Кожемяка, 1966; Огородов, Кожемяка, 1969 и др.].

На карте Н.В. Огородова и Н.Н. Кожемяки [1969] (рис. 2а) показано соотношение лав СД с ледниковыми и водно-ледниковыми комплексами двухфазного позднеплейстоценового оледенения. Эти данные включены в общую схему распространения позднеплейстоценового оледенения Камчатки [Камчатка ..., 1974]. Наиболее широко морена поздней (II-й) фазы позднеплейстоцено-

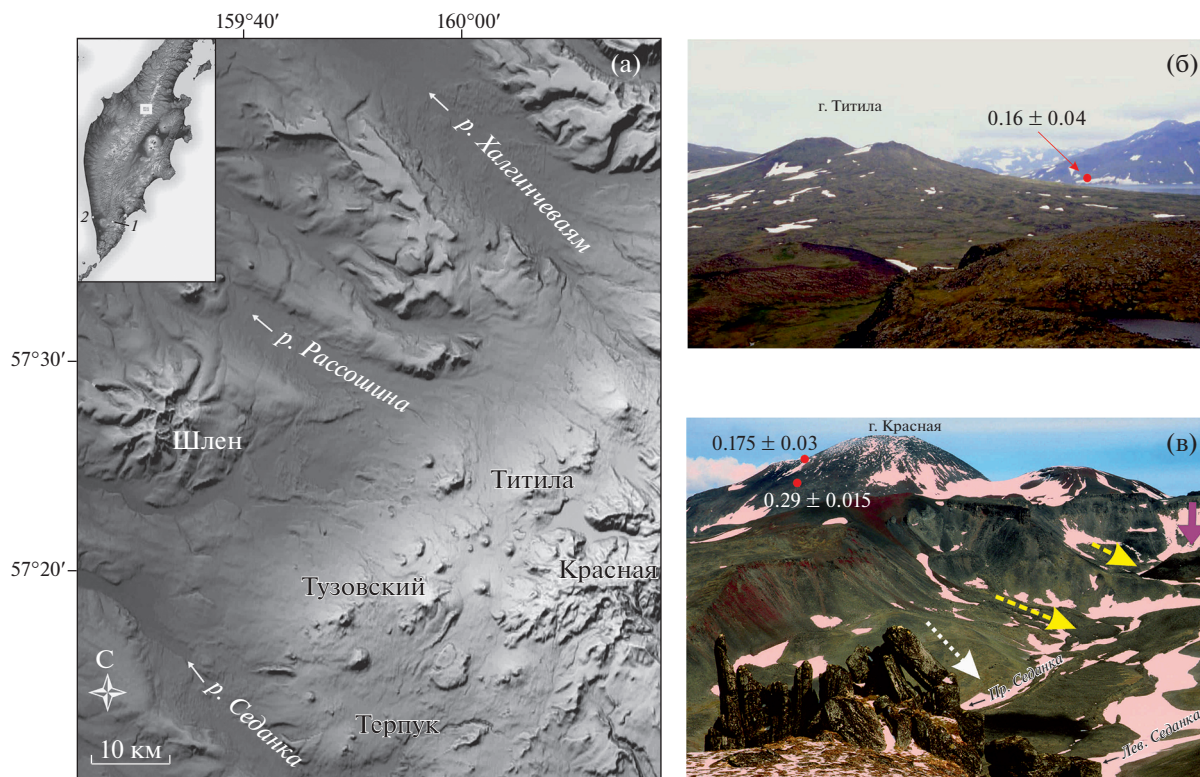


Рис. 1. Седанкинский Дол в Срединном хребте Камчатки (а) — на врезке: район работ (белый квадрат), цифрами показаны хребет Балаганчик (1) и место датирования отложений его обвала (2), топографическая основа — теневая отмывка по ЦМР SRTM [USGS EarthExplorer]; б, в — крупнейшие вулканы Дола: б — вулкан Титила, вид с северо-запада, фото с вертолета М.В. Портнягина, на переднем плане слева шлаковый конус позднеплейстоценового, справа — лавы голоценового возраста, на заднем плане справа — северное подножие массива г. Красной, в — вулкан Горного института (г. Красная), вид с юга через долину р. Седанки, фото А.С. Кириленко, по долине р. Седанки спускается голоценовый лавовый поток, его шлако-лавовый конус расположен в обвальном цирке (фрагмент конуса показан жирной стрелкой), пунктирные стрелки показывают направление схода обвалов голоценового (желтые) и позднеплейстоценового (белая) возраста. На рис. (б) и (в) показаны места отбора проб и К—Аг даты (млн лет) согласно табл. 1.

вого оледенения представлена в верховьях р. Рассошиной (см. рис. 2а, б), еще более ярко она видна и в долине р. Халгинчевая (см. рис. 1а). Морена ранней фазы (I-й) максимально широко распространена в верховьях р. Седанки (см. рис. 2а, в).

По существующим представлениям II-я заключительная фаза этого оледенения соотносится с похолоданием MIS 2, хронологически соответствует позднезырянскому (сартанскому) оледенению Сибири и на Камчатке датируется возрастом 24—18 тыс. л. н. [Краева и др., 1983]. По данным публикаций [Кожемяка, 1966; Огородов, Кожемяка, 1969], в отложениях морены II-й фазы в изобилии присутствуют обломки оливиновых базальтов свежего облика — пород, наиболее характерных для лав СД; при этом в отложениях более древней морены I-й фазы позднеплейстоценового оледенения оливиновые базальты встречаются редко, напротив, преобладают андезиты, реже андезибазальты. I-я фаза Q_{III}^3 оледенения соотносится с похолоданием MIS 4 и хронологически

соответствует раннезырянскому оледенению Сибири, которое фиксируется 75—50 тыс. л. н.

Собственно, отсутствие оливиновых базальтов в морене I-й фазы, но их наличие в морене II-й фазы, и позволяло всем нашим предшественникам считать, что базальтовый вулканизм СД начался в межстадиальное время, т.е. в интервале 50—25 тыс. л. н.

Согласно монографии [Вулканы ..., 1972], вулканизм в пределах СД проявился в позднечетвертичное время, а большая часть эруптивных центров образовалась в голоцене. Подчеркиваются весьма совершенная сохранность лавовых потоков, а также факт перекрытия ими современных аллювиальных отложений. Массив г. Красной (вулкан Горного института) отнесен к позднеплейстоцен-голоценовым образованиям.

Ближние представления о возрасте вулканитов СД можно обнаружить на крупномасштабных геологических картах [Государственная ..., 1981, 1976]. Массив г. Красной отнесен к позднеплейстоценовым образованиям. Для прочих вулкани-

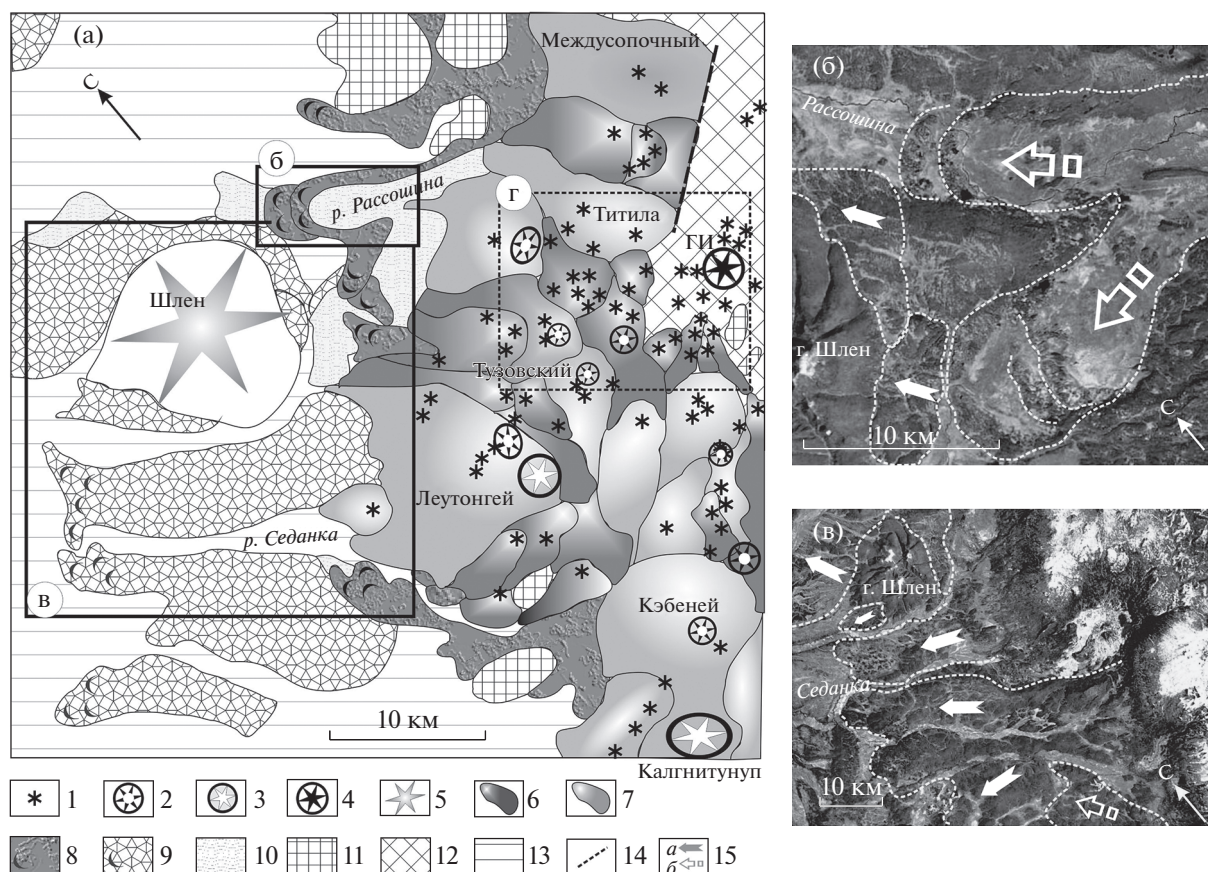


Рис. 2. Геолого-геоморфологическая карта-схема Седанкинского Дола по публикации [Огородов, Кожемяка, 1969] генерализованная (а). Выраженные в рельефе ледниковые комплексы II-й фазы (б) и I-й фазы (в) позднеледниковой оледенения; контуры по [Огородов, Кожемяка, 1969] на картографической основе Google Earth. Пунктиром оконтурен район наших исследований (г). ГИ – вулкан Горного института (г. Красная).

1, 2 – вулканические центры Q_{IV} : 1 – шлаковые конусы моногенного типа, 2 – крупные шлаковые постройки; 3, 4 – вулканические центры $Q_{III}-Q_{IV}$: 3 – существенно лавовые стратовулканы, 4 – базальтовые стратовулканы; 5 – щитовый преимущественно лавовый вулкан Q_{II} ; 6 – лавовые потоки Q_{IV} ; 7 – преимущественно лавовые образования моногенного типа Q_{III} ; 8, 9 – ледниковые комплексы и конечно-моренные дуги позднеледниковой оледенения: 8 – II-й фазы, 9 – I-й фазы; 10 – водно-ледниковые отложения; 11 – лавовые платообразные останцы Q_1 ; 12 – нерасчлененные эффузивно-пирокластические отложения аллейской серии и четвертичных эффузивов $N_{II}^3-Q_1$; 13 – пологовалистая структурно-денудационная равнина преимущественно на осадочном основании $N_{II}-Q_1$; 14 – разрывные нарушения; 15 – направление движения ледников I-й (а) и II-й фаз (б) позднеледниковой оледенения.

ческих центров принят голоценовый возраст. Кроме того, на картах, в особенности [Государственная ..., 1981], показано, что молодые вулканы повсеместно перекрывают морену позднеледниковой оледенения. А в приводораздельной части хребта имеются лишь современные голоценовые морены.

По результатам тефрохронологических исследований было установлено [Дирксен, Базанова, 2009], что в голоцене в пределах обсуждаемого района произошло не более 15 извержений. Наиболее крупное из них зафиксировано около 2700 ^{14}C л. н.; оно представлено обширными излияниями ба-

зальтовых лав на вулкане Титила. По результатам дешифрирования АФС и крупномасштабного геолого-геоморфологического картирования все плейстоценовые вулканы СД были разделены авторами на три возрастные группы, различающиеся по степени ледниковой обработки: 50–25, 25–15 и 15–10 тыс. ^{14}C л. н. При том что авторы оперируют радиоуглеродными возрастами, собственно ^{14}C датирование доголоценовой органики не проводилось. К сожалению, до сих пор не опубликована и карта с разновозрастными центрами Седанкинского Дола. По данным публикации [Дирксен, Базанова, 2009], вулканы Тузов-

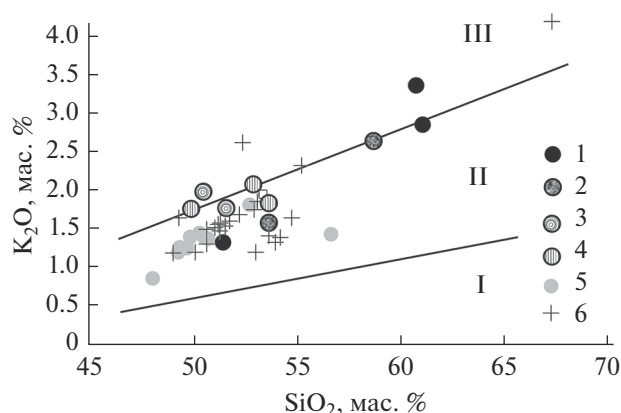


Рис. 3. Содержание кремнезема и калия в разновозрастных лавах вулканов Седанкинского Дола, по публикации [Volynets et al., 2010]. 1 – 300–270, 2 – 180–160, 3 – 100–80, 4 – между 50 и 12 тыс. л. н., 5 – голоцен, 6 – прочие нерасчлененные по возрасту вулканы. Дискриминационные линии на диаграмме – по [A classification ..., 1989], поля: I – низко-, II – умеренно-, III – высоко-калиевые породы.

ский, Титила и Горного института (г. Красная) образовались 50–25 тыс. л. н., а вулкан Твитунуп и наложенная на него цепочка лавовых центров во время последнего оледенения 25–15 тыс. л. н.

Изотопного датирования лав в районе исследования ранее не проводилось.

ЦЕЛЬ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Цель нашего исследования состояла в определении изотопного К–Аг возраста лав нескольких эруптивных центров СД, сформировавшихся в доголоценовое время и характеризующихся разной морфологической сохранностью. Нижняя граница голоцена принята около 12 (11.7) тыс. л. н. [Head, 2019; International ..., 2020].

Опробование проводилось в ходе полевых работ сотрудниками Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН (2002 г.) и Геологического института РАН (2004 г.). Химический состав вулканитов Седанкинского Дола опубликован в работе [Volynets et al., 2010].

Определение содержания радиогенного аргона выполнено в лаборатории изотопной геохимии и геохронологии ИГЕМ РАН на масс-спектрометре МИ-1201 ИГ методом изотопного разбавления с применением в качестве трассера моноизотопа ^{38}Ar ; определение калия – методом пламенной спектрофотометрии [Лебедев и др., 2010]. Датирование проведено по основной массе пород. При расчете возраста использованы константы распада калия, рекомендованные Международной подкомиссией по геохронологии IUGS [Steiger, Jäger, 1977].

ВОЗРАСТ ВУЛКАНОВ СЕДАНКИНСКОГО ДОЛА

Район наших исследований находится в центральной части СД (см. рис. 2г). Заранее полагая, что возраст пород окажется весьма молодым, при отборе проб для К–Аг изотопного датирования мы были вынуждены ограничиться только теми лавами, в химическом составе которых содержание K_2O превышало 1 мас. %, либо было лишь немного ниже этого значения (рис. 3). Таким образом, в нашем распоряжении оказались лавы андезитов и андезибазальтов, характеризующих стратовулкан Горного института (г. Красная) (442/3, 442/4, АВ-0287) и постамент вулкана Титила (АВ-0284, АВ-02105); серия безымянных лавовых центров моногенного типа, расположенных на подножии вулканов Тузовского (АВ-0294) и Титила (АВ-0247, АВ-0271, АВ-0290), а также в цепочке северо-восточного простирания между вулканами Твитунуп и Титила (АВ-0234). Результаты К–Аг датирования приведены в табл. 1. На рис. 4а видно, что наиболее древние из датированных пород тяготеют к приводораздельной части хребта. Около 300 тыс. л. н. был сформирован постамент сопки Титила, а также активно извергался стратовулкан Горного института (г. Красная). Деятельность стратовулкана продолжалась и позднее (180–160 тыс. л. н.).

Позднеплейстоценовая активность около 100–80 тыс. л. н. зафиксирована в центральной части района. В это время изливались лавы на северо-восточном подножии вулкана Тузовского, а также формировалась цепочка моногенных центров между вулканами Твитунуп и Титила. Поскольку лавовый центр АВ-0294 насажен на постройки вулкана Тузовского, то возраст вулкана должен быть древнее 100 тыс. лет. Согласно публикации [Дирксен, Базанова, 2009], вулкан Тузовский объединен в одну группу с Титилой и Красной на основании схожих морфологических характеристик. Это позволяет нам предполагать, что и вулкан Тузовский, также как Титила и Красная, начал формироваться еще в среднем плейстоцене около 300 тыс. л. н.

Наиболее молодые лавы, изливавшиеся в интервале 50–12 тыс. л. н., приурочены к южному и северо-западному подножию вулкана Титила. Весьма вероятно, что некоторые из них связаны с деятельностью этого крупного вулканического центра, проявлявшего свою активность и в голоцене.

Полученные возрасты лав свидетельствуют о том, что активизация вулканизма проходила в несколько этапов (см. рис. 4б), которые имели место как в среднем (I и II), так и в позднем плейстоцене (III и IV).

I – извержения в интервале 300–270 тыс. л. н. происходили в умеренно холодное время (первая

Таблица 1. Результаты определения К–Аг возраста лав вулканов Седанкинского Дола

Лаб. №	Автор. №	Порода	Координаты		Калий, % ± σ	⁴⁰ Аг _{рад} (нг/г) ± σ	⁴⁰ Аг _{возд} (%) в образце	Возраст, млн лет ± 2 σ
			с.ш.	в.д.				
16690	AB-0247	ОI–PI андезибазальт	57°22'14.53"	160°05'08.38"	1.35 ± 0.02	Не обнаружен	>99.9	<0.05
16691	AB-0271	ОI–PI андезибазальт	57°25'10.24"	160°01'51.36"	1.53 ± 0.02	Не обнаружен	>99.9	<0.05
16694	AB-0290	ОI–PI базальт	57°22'36.03"	160°05'08.55"	1.27 ± 0.02	Не обнаружен	>99.9	<0.05
16689	AB-0234	ОI–PI базальт пористый	57°23'02.23"	160°02'23.23"	1.30 ± 0.02	0.0071 ± 0.0014	98.6	0.08 ± 0.03
16695	AB-0294	ОI–PI базальт	57°21'25.20"	159°57'46.67"	1.40 ± 0.02	0.0092 ± 0.0024	97.4	0.095 ± 0.045
16693	AB-0287	Андезит афировый	57°22'28.55"	160°09'25.89"	1.85 ± 0.02	0.0204 ± 0.0023	94.2	0.16 ± 0.04
16697	442/3	Андезибазальт	57°19'34.00"	160°11'04.50"	1.06 ± 0.02	0.0128 ± 0.0011	96.7	0.175 ± 0.030
16692	AB-0284	PI–Px андезит	57°23'17.55"	160°07'23.74"	2.77 ± 0.03	0.0516 ± 0.0017	92.8	0.27 ± 0.02
16698	442/4	Андезит	57°19'22.19"	160°11'29.98"	2.49 ± 0.03	0.0497 ± 0.0010	87.1	0.290 ± 0.015
16696	AB-02105	ОI–PI базальт	57°23'37.56"	160°09'07.91"	0.92 ± 0.015	0.019 ± 0.003	93.9	0.30 ± 0.09

половина MIS 8)¹. Породы представлены андезитами, реже базальтами.

II – извержения в интервале 180–160 тыс. л. н. также происходили в умеренно холодное время (первая половина MIS 6). Породы представлены андезитами и андезибазальтами.

III – извержения, которые зафиксированы в интервале 100–80 тыс. л. н., хронологически соответствуют второй половине MIS 5, когда было довольно тепло. Породы представлены оливин-плагиоклазовыми базальтами.

IV – извержения моложе 50 тыс. лет, но древнее 12 тыс. лет. Этот временной интервал характеризуется умеренно холодным (вторая половина MIS 3) и холодным (MIS 2) климатом. Породы представлены оливин-плагиоклазовыми базальтами.

Полученная нами первая серия из десяти изотопных К–Аг дат (см. табл. 1) позволяет составить самые общие представления о возрасте и частоте извержений в районе исследования, но ни в коем случае не претендует на исчерпывающую полноту. Тем не менее, полученные данные позволяют заключить, что вулканы Седанкинского Дола формировались на протяжении длительного времени, начиная со среднего плейстоцена. Активизация вулканизма, по-видимому, происходила в несколько этапов, разделенных значительными по времени периодами покоя (см. рис. 46). Извержения происходили как в теплые, так и в холодные климатические эпохи. Для среднелейстоценового времени скорее характерны лавы андезитового состава, хотя зафиксированы и существенно более основные породы вплоть до базальтов. В

позднем плейстоцене в основном изливались базальты.

По-видимому, установленные нами этапы активизации вулканизма СД имели региональный характер. В среднем плейстоцене около 0.3 млн л. н. начинаются извержения в массиве Ключевской группы вулканов [Calkins, 2004; Churikova et al., 2015], в Срединном хребте Камчатки формируются стратовулканы Ичинский и Хангар [Певзнер и др., 2019]. В это же время (0.3–0.25 млн л. н.) образуются многочисленные моногенные центры на восточной Камчатке [Nishizawa et al., 2017]; в Срединном хребте вулканизм моногенного типа проявляется в массиве вулкана Ахтанг [Волинец и др., 2020].

В позднем плейстоцене около 0.08 млн л. н. начинаются извержения в массиве вулкана Толбачик [Churikova et al., 2015], на вулкане Шивелуч после длительного периода покоя возобновляется активность – изливаются значительные объемы лав оливиновых андезибазальтов [Певзнер и др., 2018].

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Согласно нашим данным (см. табл. 1), I этап вулканизма (300–270 тыс. л. н.) характеризуется извержением андезитов, а II этап (180–160 тыс. л. н.) – андезибазальтов. Оливиновые базальты появляются только на III этапе (100–80 тыс. л. н.) и извергаются вплоть до голоцена. Получается, что, отложения морены I-й фазы (75–50 тыс. л. н.), для которой характерен преимущественно андезитовый материал, не могли быть образованы позже, чем начались извержения оливиновых базальтов, т.е. 100–80 тыс. л. н. Если обсуждаемые отложения действительно имеют ледниковый генезис, то остается предполагать, что они обязаны своим происхождением таянию среднелейстоценового ледника, сфор-

¹ Здесь и далее данные о возрасте и характеристике климата морских изотопно-кислородных стадий (MIS), по [Lisiecki, Raymo, 2005].

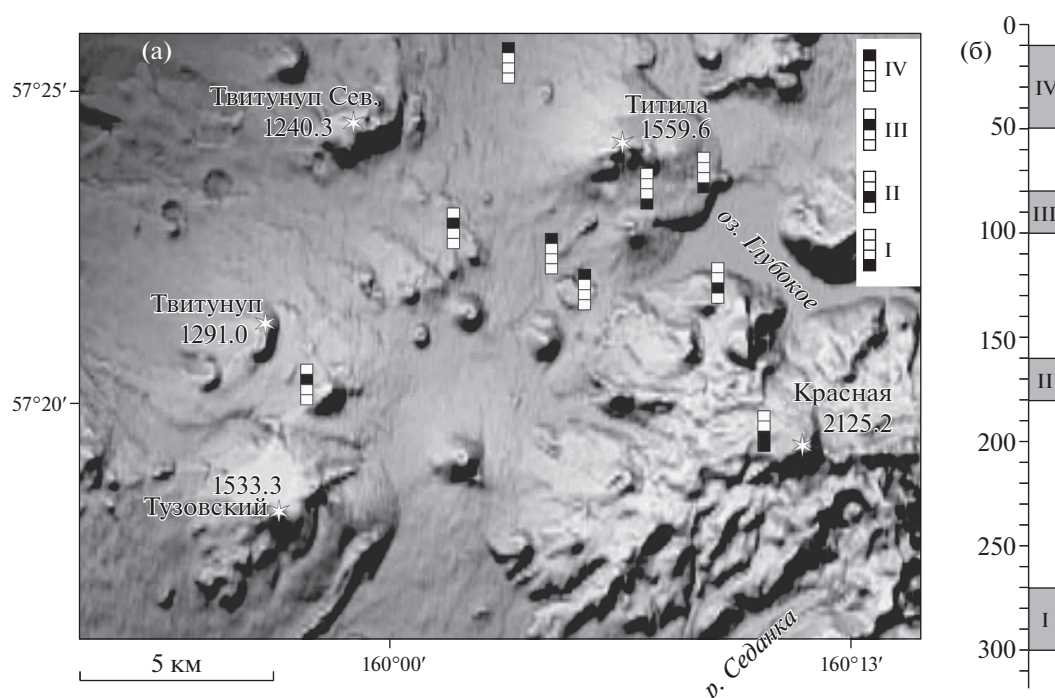


Рис. 4. Вулканы центральной части Седанкинского Дола (а), топографическая основа — теневая отмычка по ЦМР SRTM [USGS EarthExplorer]; этапы активизации вулканизма доголоценового возраста (б): I — 300–270, II — 180–160, III — 100–80, IV — между 50 и 12 тыс. л. н.

мировавшегося около 150–130 тыс. л. н. во время сильного похолодания MIS 6. Примечательно, что для последних 180 тыс. лет на Аляске и в северной Канаде, где климат гораздо более суровый, чем на Камчатке, выделяют ледники, связанные только с похолоданиями MIS 6 и MIS 2, а оледенение на протяжении стадии MIS 4 не зафиксировано [Duk-Rodkin, Barendregt, 2011].

По данным монографии [Вулканы ..., 1972], морена I-й фазы в районе СД сложена неслоистыми отложениями с валунами, галечниками и гравийниками, а ее кровля представлена почти чистым илесто-глинистым горизонтом до 1 м мощностью. Такое строение толщи не характерно для ледниковых отложений. По современным данным подобные морфоструктурные образования, в составе которых присутствуют и валуны, и галечники, и иловатые отложения, часто интерпретируются как обвалы, оползни и сопряженные с ними грязевые и грязекаменные потоки [Carrasco-Núñez et al., 2006; Landslides ..., 2012; Linares-Guerrero et al., 2007; Mirus et al., 2020; Nagel, 2004; Natural ..., 2011 и др.]. Моренные комплексы I-й фазы (см. рис. 2в) имеют довольно хорошую морфологическую выраженность, поэтому крайне трудно допустить, что они образовались ранее 100 тыс. л. н. Но если предположить, что обсуждаемые отложения никак не связаны с деятельностью ледников и, соответственно, не должны быть приурочены к наиболее сильным эпохам по-

холодания, то противоречие возраст/морфология может быть устранено.

На Камчатке обвалы на вулканах сходят довольно часто, они зафиксированы как в исторический период [Melekestev, 2006], так и в позднелайстоцен-голоценовое время [Ponomareva et al., 2006]. Наиболее крупные из них (протяженность до 30–40 км и площадь до 30 км²) сходили в позднем плейстоцене и хронологически приурочены к этапам региональной активизации вулканизма [Bazanov et al., 2016; Ponomareva et al., 2006]. Можно предположить, что “морена I-й фазы” на СД представляет собой крупный обвал (скорее серию обвалов, возможно, оползней), который сошел с приводораздельной части хребта (андезитовый материал характерен для массива г. Красной). Лучше всего отложения этого события выражены в верховьях р. Седанки (см. рис. 2а, в), поэтому далее будем называть его “обвал Седанка”. Согласно данным рис. 2а, дальность распространения обломочного материала обвала Седанка могла составлять 50–70 км, а первичная площадь отложений могла быть от одной до двух тысяч км², что, безусловно, заметно превышает ранее установленные параметры для наиболее крупных обвалов позднелайстоценового времени. Однако известны обвалы и оползни, для которых характерны гигантские объемы перемещенного материала, а их протяженность превышает 120

км [Blahút et al., 2019; Carrasco-Núñez et al., 2006; Cortés et al., 2019; Crandell et al., 1984; Dufresne et al., 2020 и др.].

Отложения одного из таких гигантских обвалов были установлены на юго-западе полуострова. Изучая “морену I-й фазы” на Охотоморском берегу Камчатки (см. рис. 1, врезка) в районе р. Митога 2-я, мы определили изотопный уранториевый возраст отложений, он составил около 80 тыс. лет [Певзнер и др., 2021]. Это время (вторая половина MIS 5) характеризуется довольно теплым климатом, когда формирование масштабного оледенения невозможно. Состав обломков (глыбы, валуны, галька преимущественно вулканитов основного состава) и наличие специфического суглинистого горизонта позволили нам интерпретировать эти отложения как катастрофический обвал хребта Балаганчик (см. рис. 1, врезка). При этом дальность распространения материала обвала и сопряженных грязевых потоков составила не менее 100 км, а занятая ими площадь оказалась не менее 1500 км². Указанные параметры для обвала хребта Балаганчик, сошедшего в южной части Срединного хребта Камчатки, довольно близки к таковым для валунно-галечного-гравийных и илесто-глинистых толщ, выделенных ранее на периферии Седанкинского Дола (северная часть Срединного хребта) как “морена I-й фазы”.

Незначительное количество базальтов на фоне преобладающего андезитового и андезибазальтового материала в “морене I-й фазы” СД позволяет нам предполагать, что эта толща образовалась хронологически близко к третьему этапу активности, когда 100–80 тыс. л. н. на СД отмечены первые излияния оливиновых базальтов. Не имея прямых изотопных дат, мы вынуждены пока оценить возраст обвала Седанка (“морены I-й фазы”) между 100 и 80 тыс. л. н. Очевидно, что каждый этап активизации вулканизма на СД сопровождался значительными землетрясениями. Весьма вероятно, что сейсмическая активность, предшествующая или сопровождавшая начало этапа III, привела к сходу крупного обвала в массиве г. Красной. Довольно близкие морфологические признаки отложений “морены I-й фазы” на Седанкинском Долу (обвал Седанка) и на Охотоморском берегу Камчатки (обвал хребта Балаганчик) могут свидетельствовать о близком возрасте этих событий (около 80 тыс. лет), однако это предположение требует подтверждения. Таким образом, мы приходим к тому, что наша оценка возраста схода обвала Седанки (около 80 (100–80) тыс. лет) оказывается близка, но все же несколько древнее, чем ранее предполагаемый возраст “морены I-й фазы” (75–50 тыс. лет). Выше мы обсуждали, что климатические характеристики изотопной стадии MIS 4 не располагали к формированию обширных ледников и связанных с ними морен-

ных комплексов, что и вынуждает нас предполагать не ледниковый, а обвальный или обвально-оползневой генезис отложений. В связи с этим хочется отметить, что в работе [Barr, Clark, 2012] специально подчеркивается, что ранее выделенные на территории Камчатки ледниковые комплексы не только имеют аномально большие объемы, но и хронологически камчатские оледенения должны были бы происходить асинхронно с оледенениями в других частях Северного полушария. Не ледниковое происхождение обсуждаемых толщ может снять это противоречие.

По данным монографии [Вулканы ..., 1972], фронтальные валы морены II-й фазы сложены валунами, галечниками и гравийниками. В верхних горизонтах встречаются остроугольный обломочный материал и шлаки базальтового состава. Крупные валуны и галька в разрезах моренных гряд обычно залегают упорядоченно, оси обломков ориентированы согласно с общей ориентировкой моренных гряд и направлением движения ледника. Как впереди, так и позади моренных гряд обычно распространены водно-ледниковые отложения, представленные песками и илесто-глинистым материалом.

Формально мы не имеем достаточных оснований подвергать сомнению ни возраст (24–18 тыс. лет), ни генезис отложений морены II-й фазы оледенения, насыщенной обломками оливиновых базальтов. Однако перечисленные особенности отложений никак не могут свидетельствовать исключительно о ледниковом происхождении толщи. В связи с этим сомнения по поводу отложений ранней фазы оледенения в полной мере могут относиться и к поздней.

Примечательно, что морфология и особенности стратификации материала в ранее выделенных разновозрастных моренных комплексах сильно отличаются. Как было рассмотрено выше, для фронтальных частей морены II-й фазы характерны прекрасно выраженные конечно-моренные валы, сложенные грубым каменным материалом, а выше по течению распространен песчано-илистый материал (см. рис. 2а, б). Подобные фациальные изменения можно объяснить, если только допустить стремительный спуск ледника, что крайне маловероятно во время сильного похолодания и длительного существования оледенения. Однако такое строение весьма характерно для крупных грязекаменных потоков: более грубый материал отлагается во фронтальной части потока, а более мелкий – выше по течению, в результате чего формируются крутые фронтальные валы, сложенные ориентированными по направлению движения потока валунами [Hotta, 2012; Zhu et al., 2020].

В любом случае требуются дополнительные работы по идентификации отложений и уточне-

нию возраста моренных комплексов (?) и крупномасштабных обвалов и оползней на западной периферии Седанкинского Дола.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Впервые получена серия изотопных К–Аг дат для лав Седанкинского Дола. Установлено, что вулканизм в этом районе начался как минимум в среднем плейстоцене (около 300 тыс. л. н.). Активизация вулканизма происходила в несколько этапов (300–270, 180–160, 100–80 и между 50 и 12 тыс. л. н.), разделенных значительными по времени периодами покоя. В среднем плейстоцене начали формироваться крупные щитовые и существенно лавовые стратовулканы Титила, Тузовский и Горного института (г. Красная), для которых характерны лавы преимущественно андезитового и андезибазальтового составов. В позднеплейстоценовое время (около 100–80 тыс. л. н.) начались обширные излияния оливин-плагиоклазовых базальтов; формировались многочисленные шлаковые конусы и лавовые потоки, доголоценовая активность зафиксирована и на вулкане Титила. Этапы, которые фиксируют начало вулканической деятельности (I) и первую подачу базитовых магм (III) на Долу, по-видимому, были обусловлены региональными причинами усиления эндогенной активности.

Данные о широком распространении на западной периферии Седанкинского Дола морен раннезырянского времени не подтвердились. Возможно, масштабы позднеплейстоценового оледенения были существенно меньше, чем принято считать.

Новые изотопно-геохронологические данные в совокупности с литолого-петрографическими характеристиками ранее выделенных “морен I-й фазы позднеплейстоценового оледенения” позволяют предполагать, что 80 (100–80) тыс. л. н. в массиве г. Красной (приводораздельная часть хребта) произошел крупный обвал или оползень, сопровождавшийся сходом грязевых потоков. Обвал мог быть вызван сейсмическими событиями, предварявшими и/или сопровождавшими начало нового этапа вулканической активности в северной части Срединного хребта Камчатки.

Морфологические особенности, на основании которых ранее проводилось разделение вулканов на разные возрастные группы, весьма информативны, но при отсутствии прямого изотопного датирования лав, могут быть использованы только для относительного датирования.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают благодарность рецензентам статьи за высказанные замечания, которые позволили улучшить рукопись; О.В. Дирксену, М.В. Портнягину,

Л.И. Базановой, М.Ю. Пузанкову и А.Н. Рогозину — за помощь при организации и проведении полевых работ 2002 г., М.В. Портнягину и А.С. Кириленко — за предоставленные фотографии.

ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ

Работа выполнена в соответствии с Госзаданием по теме ГИН РАН № 0135-2019-0059, ИВиС ДВО РАН № 0282-2019-0004, при финансовой поддержке Гранта Jack Kleinman Internship for Volcano Research 2002 (полевые работы 2002 г.) и проекта РФФИ № 20-05-00085 (изотопное датирование и написание статьи).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Вольнец А.О., Певзнер М.М., Лебедев В.А. и др.* Этапы активизации вулканизма на юго-восточном фланге Срединного хребта Камчатки: возраст, геохимия и изотопные характеристики пород массивов гор Ахтанг и Костина // *Геология и геофизика*. 2020. Т. 61. № 7. С. 862–878.
<https://doi.org/10.15372/GiG2019158>
- Вулканы и четвертичный вулканизм Срединного хребта Камчатки / Отв. ред. Э.Н. Эрлих. М.: Наука, 1972. 192 с.
- Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1 : 200000. Издание первое. Лист О-57-XXIII / Заботкин Л.В., Найденов Ю.Ф., Гудина Э.Д. / Ред. В.К. Ротман. Л.: Картфабрика “Аэрогеология”, 1981.
- Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1 : 200000. Издание первое. Лист О-57-XXIX / Дараган Е.В., Ильина Г.А., Найденов Ю.Ф. / Ред. Т.Ф. Мороз. Л.: Картфабрика “Аэрогеология”, 1976.
- Дирксен О.В., Базанова Л.И.* Позднечетвертичный вулканизм Седанкинского Дола, Срединный хребет, Камчатка // *Вулканизм и геодинамика. Материалы IV Всероссийского симпозиума по вулканологии и палеовулканологии* (Т. 1), 22–27 сентября 2009 г. Петропавловск-Камчатский, 2009. С. 355–358.
- Камчатка, Курильские и Командорские острова / Отв. ред. И.В. Лучицкий. М.: Наука, 1974. 439 с.
- Кожемяка Н.Н.* Особенности четвертичного оледенения центральной части Срединного хребта // *Вопросы географии Камчатки*. 1966. Вып. IV. С. 63–69.
- Краева Т.С., Лупкина Е.Г., Егорова И.А. и др.* Возраст последнего позднеплейстоценового оледенения Камчатки // *Изв. АН СССР. Сер. географ.* 1983. № 1. С. 90–94.
- Лебедев В.А., Чернышев И.В., Чугаев А.В. и др.* Геохронология извержений и источники вещества материнских магм вулкана Эльбрус (Большой Кавказ): результаты К–Аг и Sr–Nd–Pb изотопных исследований // *Геохимия*. 2010. № 1. С. 45–73.
- Огородов Н.В., Кожемяка Н.Н.* К вопросу о принципах расчленения и картирования четвертичных эффузивов в Срединном хребте Камчатки // *Методика картирования вулканических формаций*. М.: Наука, 1969. С. 76–82.

- Певзнер М.М., Лебедев В.А., Волюнец А.О. и др. Возраст стратовулканов Ичинский и Хангар (Срединный хребет, Камчатка) // Докл. АН. 2019. Т. 489. № 6. С. 616–620.
<https://doi.org/10.31857/S0869-56524896616-620>
- Певзнер М.М., Толстых М.Л., Бабанский А.Д. Вулканический массив Шивелуч, Камчатка: этапы развития магматической системы (результаты геохронологических и термобарогеохимических исследований) // Вулканология и сейсмология. 2018. № 4. С. 15–25.
<https://doi.org/10.1134/S0203030618040065>
- Певзнер М.М., Максимов Ф.Е., Каримов Т.Д. и др. Позднеплейстоценовый катастрофический обвал хребта Балаганчик по данным изучения опорного разреза Митога 2-я (Западная Камчатка) // Литология и полезные ископаемые. 2021. № 1. С. 78–97.
- A classification of the igneous rocks and glossary of terms. Recommendations of the International Union of Geological Sciences on the Systematics of Igneous Rocks / Ed. R.W. Le Maitre. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1989. 193 p.
- Barr I.D., Clark C.D. Late Quaternary glaciations in Far NE Russia; combining moraines, topography and chronology to assess regional and global glaciation synchrony // Quat. Sci. Rev. 2012. V. 53. P. 72–87.
<https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2012.08.004>
- Bazanov L.I., Melekestev I.V., Ponomareva V., Dirksen O.V. Late Pleistocene and Holocene volcanic catastrophes in Kamchatka and in the Kuril Islands. Part 1. Types and classes of catastrophic eruptions as the leading components of volcanic catastrophism // J. Volcanology and Seismology. 2016. V. 10. № 3. P. 151–169.
<https://doi.org/10.1134/S0742046316030027>
- Blahůt J., Balek J., Klimeš J. et al. A comprehensive global database of giant landslides on volcanic islands // Landslides. 2019. V. 16. P. 2045–2052.
<https://doi.org/10.1007/s10346-019-01275-8>
- Calkins J. ⁴⁰Ar/³⁹Ar geochronology of Khapitsa Plateau and Studyonaya River basalts and basaltic andesites in Central Kamchatka Depression, Kamchatka, Russia / Abstr. IV JKASP Int. workshop. 2004. <http://kiska.giseis.alaska.edu/kasp/kasp04/abstracts/abstracts.htm>
- Carrasco-Núñez G., Díaz-Castellón R., Siebert L. et al. Multiple edifice-collapse events in the Eastern Mexican Volcanic Belt: The role of sloping substrate and implications for hazard assessment // J. Volcanol. Geotherm. Res. 2006. V. 158. Iss. 1–2. P. 151–176.
<https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2006.04.025>
- Churikova T.G., Gordeychik B.N., Iwamori H. et al. Petrological and geochemical evolution of the Tolbachik volcanic massif, Kamchatka, Russia // J. Volcanol. Geotherm. Res. 2015. V. 307. P. 156–181.
<https://doi.org/10.1016/J.JVOLGEORES.2015.10.026>
- Cortés A., Komorowski J.-C., Macías J.L. et al. Late Pleistocene-Holocene Debris Avalanche Deposits from Volcán de Colima, Mexico // Volcán de Colima. Portrait of a Persistently Hazardous Volcano / Eds N. Varley, Ch.B. Connor, J.-Ch. Komorowski. Germany: Springer-Verlag GmbH, 2019. P. 55–79.
- Crandell D.R., Miller C.D., Glicken H.X. et al. Catastrophic debris avalanche from ancestral Mount Shasta volcano, California // Geology. 1984. V. 12. P. 143–146.
- Dufresne A., Siebert L., Bernard B. Distribution and Geometric Parameters of Volcanic Debris Avalanche Deposits // Volcanic Debris Avalanches – from Collapse to Hazard / Eds M. Roverato, A. Dufresne, J. Procter. Switzerland: Springer Nature Publisher, 2020. P. 75–90.
https://doi.org/10.1007/978-3-030-57411-6_4
- Duk-Rodkin A., Barendregt R.W. Stratigraphical Record of Glacials/Interglacials in Northwest Canada // Developments in Quaternary Science. 2011. V. 15. P. 661–698.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-444-53447-7.00049-0>
- Head M.J. Formal subdivision of the Quaternary System/Period: Present status and future directions // Quaternary International. 2019. V. 500. P. 32–51.
<https://doi.org/10.1016/j.quaint.2019.05.018>
- Hotta N. Basal interstitial water pressure in laboratory debris flows over a rigid bed in an open channel // Nat. Hazards Earth Syst. Sci. 2012. V. 12. P. 2499–2505.
<https://doi.org/10.5194/nhess-12-2499-2012>
- International Chronostratigraphic Chart. V. 2020/03. International Commission on Stratigraphy. <https://stratigraphy.org/ICSchart/ChronostratChart2020-03.pdf>
- Landslides: Types, Mechanisms and Modeling / Eds J.J. Clague, D. Stead. N. Y.: Cambridge University Press, 2012. 420 p.
- Linares-Guerrero E., Goujon C., Zenit R. Increased mobility of bidisperse granular avalanches // J. Fluid Mech. 2007. V. 593. P. 475–504.
<https://doi.org/10.1017/S0022112007008932>
- Lisiecki L.E., Raymo M.E. A Pliocene-Pleistocene stack of 57 globally distributed benthic ¹⁸O records // Paleogeography. 2005. V. 20. PA1003.
<https://doi.org/10.1029/2004PA00107>
- Melekestev I.V. Large modern collapses on the active volcanoes of Kamchatka: Causes and mechanisms of formation // Landslides from Massive Rock Slope Failure / Eds S.G. Evans, G.S. Mugnozza, A. Strom, R.L. Hermanns. Amsterdam: Springer, 2006. P. 431–444.
- Mirus B.B., Jones E.S., Baum R.L. et al. Landslides across the USA: occurrence, susceptibility, and data limitations // Landslides. 2020. V. 17. P. 2271–2285.
<https://doi.org/10.1007/s10346-020-01424-4>
- Nagel R. Encyclopedia of Landforms and Other Geologic Features. V. 2. Fault, Floodplain, Geyser and hot spring, Glacial landforms and features, Landslide and other gravity movements, Mesa and butte, Meteorite crater, Mountain. Gale: UXL, 2004. 139 p.
- Natural and Artificial Rockslide Dams / Eds S.G. Evans, R.L. Hermanns, A. Strom, G. Scarascia-Mugnozza. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2011. 649 p.
- Nishizawa T., Nakamura H., Churikova T. et al. Genesis of ultra-high-Ni olivine in high-Mg andesite lava triggered by seamount subduction // Sci. Rep. 2017. V. 7(11515). P. 1–11.
<https://doi.org/10.1038/s41598-017-10276-3>
- Ponomareva V.V., Melekestev I.V., Dirksen O.V. Sector collapses and large landslides on Late Pleistocene-Holocene volcanoes in Kamchatka, Russia // J. Volcanol. Geotherm. Res. 2006. V. 158. Iss. 1–2. № 1. P. 117–138.
<https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2006.04.016>
- Steiger R.H., Jäger H. Subcommission on Geochronology: convention on the use of decay constants in geo- and cos-

mochronology // *Earth Planet. Sci. Lett.* 1977. V. 36. № 3. P. 359–362.

Volynets A., Churikova T., Wörner G. et al. Mafic Late Miocene – Quaternary volcanic rocks in the Kamchatka back arc region: implications for subduction geometry and slab history at the Pacific-Aleutian junction // *Contrib. Mineral.*

Petrol. 2010. № 159. P. 659–687.

<https://doi.org/10.1007/s00410-009-0447-9>

Zhu X., Liu B., Liu Y. New Method for Estimating Roughness Coefficient for Debris Flows // *Water*. 2020. V. 12(2341). P. 1–15.

<https://doi.org/10.3390/w12092341>

Sedankinsky Dol (Sredinny Range of Kamchatka): K–Ar Age of Volcanoes and a Relationship of the Volcanic and Glacial Relief Forms

M. M. Pevzner^{1,*}, A. O. Volynets², and V. A. Lebedev³

¹*Geological Institute RAS, Russian Academy of Sciences, Pyzhevsky lane, 7, bld. 1, Moscow, 119017 Russia*

²*Institute of Volcanology and Seismology, Far Eastern Branch, Russian Academy of Sciences, bulv. Piipa, 9, Petropavlovsk-Kamchatsky, 684006 Russia*

³*Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry, Russian Academy of Sciences, Staromonetny lane, 35, Moscow, 119017 Russia*

*e-mail: m_pevzner@mail.ru

For the first time, a series of 10 isotopic K–Ar dates was obtained for the lava centers of the Sedankinsky Dol, located in the northern part of the Sredinny Range of Kamchatka. It has been established that volcanism in this area started at least in the Middle Pleistocene. For the pre-Holocene time, four stages of volcanism activation were distinguished (300–270, 180–160, 100–80, and between 50 and 12 ka BP), separated by the significant dormancy periods. The stages that mark the onset of volcanic activity and the first supply of basic magmas within Sedankinsky Dol were apparently caused by the regional reasons of the increase of the endogenous activity. The obtained geochronological data cast doubt on either the age or the genesis of the moraine complexes of the first and second phases of the Late Pleistocene glaciation previously identified for this region. Analysis of lithological-petrographic and isotopic-geochronological data indicates that a large avalanche descended from the near-watershed part of the ridge about 100–80 thousand years ago. The deposits of this avalanche were previously identified as “phase I moraine”. This event could have been triggered by a high-magnitude earthquake that preceded and/or accompanied a new stage of volcanism activation, at which the earliest eruptions of olivine basalts were recorded.

Keywords: K–Ar age determination, volcanism, earthquakes, avalanches, glaciations, Kamchatka, Pleistocene