

УДК 551.217

Вулкано-гляциальное взаимодействие: ГИС-приложения к оценке лахароопасности (на примере Камчатки)

© 2014 г. Я.Д. Муравьев¹, Е.С. Клименко²

¹Институт вулканологии и сейсмологии Дальневосточного отделения РАН, Петропавловск-Камчатский;

²Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова
murjd@kscnet.ru

Volcanic-glacial interactions: GIS applications to the assessment of lahar hazards (case study of Kamchatka)

Ya.D. Muraviev¹, E.S. Klimenko²

¹Institute of Volcanology and Seismology, Pacific Branch of the Russian Academy of Sciences, Petropavlovsk-Kamchatskiy;

²Moscow State University

Статья принята к печати 5 июня 2014 г.

Вулканическая опасность, вулкано-гляциальное взаимодействие, ГИС, грязевые потоки, лахар, п-ов Камчатка, снежный покров. GIS, Kamchatka Peninsula, lahar, mudflows, snow cover, volcanic hazard, volcanic-glacier interaction.

Формирование и сход протяжённых мощных грязевых потоков (лахаров) в результате вулкано-гляциального взаимодействия – один из главных элементов вулканической опасности в условиях Камчатки. В рамках ГИС «Вулканическая опасность Курило-Камчатской островной дуги» разработан крупномасштабная ГИС «Лахароопасность» для вулканических групп и отдельных вулканов полуострова. К основным слоям в пополняемой базе данных относятся: физико-географическая информация о районах активного вулканизма и прилегающих к ним территориях компактного проживания населения; сведения о селевой активности; данные о распределении запасов снега и льда. База данных ориентирована на картографирование окружающих территорий и оценку лахароопасности для них. В качестве примера рассмотрены результаты расчётов и прогнозные оценки для центральной части Ключевской группы вулканов.

Large-scale GIS «Hazards of lahars (volcanogenic mudflows)» has been developed in framework of the GIS «Volcanic hazard of the Kuril-Kamchatka island arc». This database is aimed at mapping of surrounding territories and estimating a hazard of lahars. As an example, results of calculations and forecast estimates for central part of the Klyuchevskaya volcanic group are discussed in the article.

Введение

На Камчатке к одному из основных результатов взаимодействия процессов вулканизма со снегом и льдом относится образование вулканогенных селей (лахаров). Их отличительные особенности – внесезонность и внезапность. Гравитационные потоки такого вида на склонах действующих вулканов в разные сезоны года отмечались многими исследователями [3, 8–10 и др.]. Мощные грязевые потоки сходили при извержениях Авачинского (ранней весной 1926 и 1938 гг.) и Ключевского (1 января 1945 г.) вулканов [15–17]. Крупнейший лахар на территории нашей страны сошёл при катастрофическом извержении вулкана Безымянный в марте 1956 г. Объём отложений этого лахара, по оценкам Г.С. Горшкова, составил около 500 млн м³ [7]. Более подробная информация о селевых явлениях на Камчатке содержится в обзорной работе [19]. Тем не менее, несмотря на имеющуюся обширную и разнообразную информацию об этом природном явлении, достаточно мало исследований, посвящённых непосредственному анализу данных об этом событии в процессе его развития и возможностям их оперативного использования на практике.

В последние десятилетия активно развиваются географические информационные системы (ГИС),

которые используются также для оценки масштаба и прогноза природных и техногенных катастроф. Именно этот инструментарий мы использовали для создания ГИС «Вулканическая опасность Курило-Камчатской островной дуги» на основе карты масштаба 1:1 000 000 (рис. 1), куда составной частью входил крупномасштабный блок по лахароопасности территорий вокруг наиболее активных вулканов п-ова Камчатка [14].

Постановка проблемы

Среди всех процессов, сопровождающих вулканические извержения на Камчатке, лахары (вулканогенные сели) наиболее опасны для хозяйственных объектов и местного населения. Населённые пункты в окрестностях активных вулканов расположены на значительном расстоянии от них: так, пос. Ключи находится в 30 км от Ключевского вулкана и ещё дальше – от наиболее опасных вулканов Шивелуч и Безымянный, т.е. они напрямую не могут быть подвержены ни пирокластическим или лавовым потокам, ни палящим тучам, поскольку радиус их действия не превышает 20–25 км даже при наиболее мощных извержениях.

Вместе с тем протяжённость лахаров, образующихся во время даже незначительных извержений,

Характеристики некоторых лахаров при извержениях вулканов Северной группы*

Название вулкана, год извержения, дата образования потока	Направление движения потока (названия рек)	Длина потока, км	Площадь отложений, км ²	Средняя мощность отложений, м	Объём лахара, км ³
Ключевской, 1945, 1 января	Сухая	35	3,0	Нет свед.	~0,15
Безымянный, 1956, 30 марта	Большая Хапица, Камчатка	90	~50		0,3
Ключевской 1983, 8 марта – 1 мая	Каменистая	25	3,5	2,0	0,08
Ключевской, 1985, 2 декабря	Сухая, Крутенькая	30	1,2	0,6	0,007
Шивелуч, 1993, 21 апреля	Байдарная, Каменка	23	3,0	2,0	0,01
Ключевской, 1993, 19 июля	Киргурич (руч.), Крутенькая	33	2,5	1,0–1,5	0,025
Ключевской, 1994, 1 октября		29	4,0	1,5	0,01
Ключевской, 2005, 1 февраля	Крутенькая	25	1,8	0,5	0,014
Ключевской 2007, 14 мая	Киргурич (руч.)	35	1,2	0,5	0,006
Ключевской, 2008, 9 декабря	Сухая	25	1,1	1,0	0,011
Ключевской, 2013, 22 октября	Студёная	60	5,0	1,0	~0,03

*Объёмы лахаров реконструированы на основе использования карты максимальных снегозапасов [1].

может достигать 30 км и более; при этом вулканогенные сели покрывают обширные площади. Для обеспечения безопасности населения необходимы работы по оценке объёмов возможных лахаров и площадей их распространения. В современных условиях такие расчёты достаточно точно и оперативно можно выполнить с помощью ГИС-технологий. Данное исследование – очередной шаг на пути создания оперативной системы оценки объёмов возможных лахаров на основе программного инструментария современной вычислительной техники. В его основу легли результаты полевых исследований, литературные и картографические материалы.

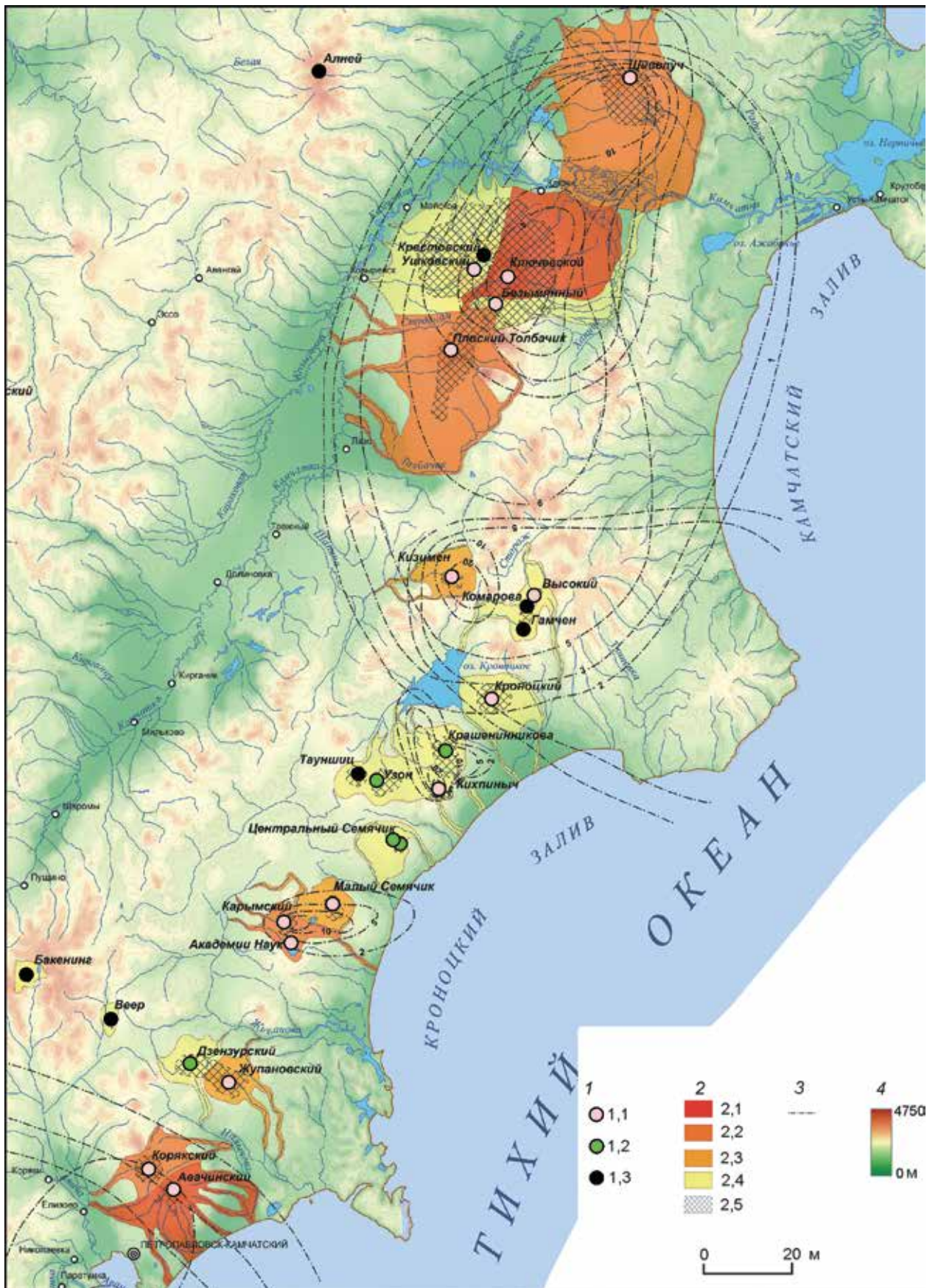
Источники тепла. Среди наиболее характерных явлений, способствующих образованию лахаров при взаимодействии продуктов вулканических извержений со снегом и льдом, можно назвать такие: 1) вертикальные, крутонаклонные и особенно косые взрывы, при которых на склоны вулканов и в окружающую местность выбрасывается большое количество раскалённых и горячих обломков (извержения вулкана Безымянный в 1956 г.); 2) раскалённые газопепловые потоки («палящие тучи») рыхлого пирокластического материала; 3) пирокластические потоки из раскалённого грубообломочного материала, покрывающего снежно-ледовые образования, а также водотоки и водоёмы; 4) обвалы лавовых потоков с крутых склонов стратовулканов (особенно характерны для вершинных извержений вулкана Ключевской) и оползней, возникающих на экструзивных куполах андезитовых вулканов (например, вулкан Шивелуч).

Самые мощные события при вулканогляциальном взаимодействии – это оползни (обрушения) ледников на вулканах, сопровождаемые сходом грязекаменных потоков и наводнениями. Объём перемещаемой в этих случаях ледово-грязекаменной массы превышает 0,1 км³, что крайне опасно для окружающей территории. Примеры этого – обрушение льдонасыщенных масс в Крестовском жёлобе Ключевского вулкана 1 января 1945 г., а также выброс ледника Колка в Казбекском вулканическом массиве 20 сентября 2002 г. [12, 13].

Материалы и методы исследования

Значительные запасы снега и льда на склонах действующих вулканов Камчатки обуславливают огромные объёмы талой составляющей стока при извержении. Мощность возникающих грязевых потоков определяется площадью водосбора, запасами снега и льда в бассейне, характером рельефа местности, а также наличием глубоко врезанных долин и ложбин, где основной поток формируется быстрее. Так, за последние 30 лет вершинные и побочные извержения Ключевского вулкана способствовали формированию лахаров на его склонах, которые сходили по руслам «сухих» рек Киргурич, Крутенькая, Сухая и др. (таблица). Длина потоков достигала 25–35 км, что превышало расстояние от вулкана до пос. Ключи.

Внедрение лавовых потоков в ледник Келля во время побочного извержения Ключевского вулкана весной 1983 г. вызвало интенсивное таяние снега и льда, что способствовало образованию и сходу нескольких крупных лахаров на расстояние



15–20 км от места извержения [4]. Паводками и лахарами было вынесено 80 млн м³ талых вод, и этот процесс был ограничен лишь размерами самого ледника. Максимальные измеренные расходы талого стока в реке в период прохождения лахара превышали измеренный летний меженный расход более чем в 40 раз.

Вершинное извержение Ключевского вулкана с 8 сентября по 4 октября 1994 г. (с параксизмом 1 октября) было наиболее мощным со времени извержения 1 января 1945 г., когда по р. Сухой сошёл грязевой поток длиной 35 км, влившийся в р. Камчатка на окраине пос. Ключи [17]. Грязекаменные потоки, сошедшие во время кульминационной фазы 1 октября 1994 г., оставили грубообломочный материал [18] на площади около 4 км², а общая площадь тонких отложений превысила 20 км². Суммарный объём растопленного льда в леднике Эрмана оценён в $(0,7–1,0)10^7$ м³. Твёрдая составляющая, по-видимому, достигала почти 20% общего объёма лахара. Эти оценки удовлетворительно согласуются с объёмом наносов на конусе выноса, оцениваемым в $(1–1,5)10^6$ м³. Лахарообразующий эффект извержения 1994 г. мог быть гораздо сильнее, однако предыдущее терминальное извержение вулкана в июле–августе 1993 г. существенно снизило запасы снега и льда в области формирования этого грязевого потока.

Во время исторических извержений Авачинского вулкана мощные лахары отмечались в 1827, 1878, 1926 и 1938 гг. [2, 15, 16]. Длина потоков в окрестностях г. Петропавловск-Камчатский составила 25–30 км. Традиционные пути их схода – сухие речки: Халактырская, Камбальная, Елизовская и др. В 1827 и 1926 гг. по Халактырской сухой речке они достигли океана (в районе горы Толстый мыс), а по Елизовской, также сухой речке, и р. Мутная впадали в р. Авача (выше г. Елизово). При других извержениях этого вулкана протяжённость грязевых потоков не превышала 20 км. Но если раньше грязевые потоки сходили по безлюд-

ным районам, то в настоящее время на конусах выноса этих потоков находятся посёлки городского типа, выделены участки для садовых некоммерческих товариществ. Поэтому изучение закономерностей образования лахаров на вулкане и оценка возможных их размеров – крайне важные задачи.

Разрабатываемые в Институте вулканологии и сейсмологии ДВО РАН крупномасштабные локальные геоинформационные системы (ГИС) охватывают обширную территорию в центральной части п-ова Камчатка между 52 и 57° с.ш. Именно здесь отмечается самая высокая плотность населения и расположены крупнейшие населённые пункты Камчатки: города Петропавловск-Камчатский и Елизово, которые находятся у подножия двух действующих вулканов – Авачинского и Корякского, а также посёлки Усть-Камчатского района, расположенные в пределах досягаемости активных вулканов Северной группы. Предполагается, что локальные базы данных (БД) в среде ГИС «Авачинская группа вулканов» и «Северная группа вулканов» станут составными частями общей ГИС «Вулканическая опасность Курило-Камчатской островной дуги», охватывающей всю Курило-Камчатскую островную дугу [5, 6].

Рабочий масштаб крупномасштабных ГИС – 1:100 000, рабочая проекция: проекция Гаусса–Крюгера – 27 зона Северного полушария. Для удобства использования все слои БД сгруппированы в проекте по тематическим группам, что позволяет легче ориентироваться среди большого объёма разнообразных пространственных данных. ГИС создаётся в программном пакете ARCGIS 10, её база данных в настоящий момент включает в себя следующие слои: физико-географическую основу; населённые пункты; дорожную сеть; карту снегозапасов на дату максимума; моделирование зон затопления. Рассмотрим их.

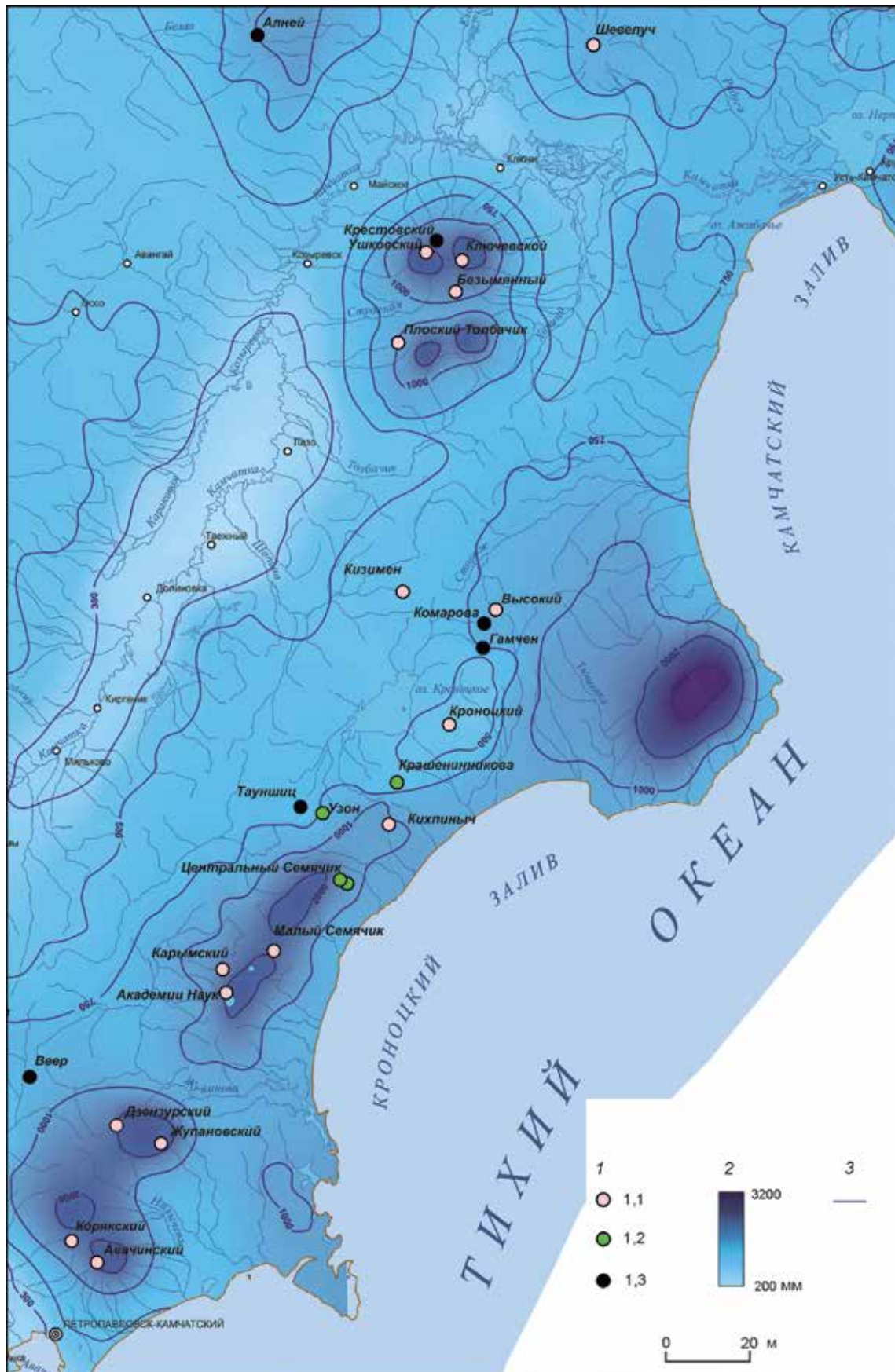
Физико-географическая основа содержит слои, в которые входит исчерпывающая информация о рельефе, гидрографии и инфраструктуре райо-

Рис. 1. Карта вулканической опасности вулканов Восточного хребта (Камчатка). Показаны основные направления схода крупных лахаров.

1 – активные вулканы: 1.1 – известные извержения в историческое время, 1.2 – находятся в сольфатарной стадии деятельности, 1.3 – потенциально действующие; 2 – зоны опасности, разделяемые по вероятности возникновения извержений: 2.1 – 1 раз в 5–10 лет, 2.2 – 1 раз в 10–50 лет, 2.3 – 1 раз в 50–100 лет, 2.4 – 1 раз в более чем в 100 лет, 2.5 – зона особой опасности; 3 – распространение тефры, указанное изопахитами; 4 – гипсометрическая шкала

Fig. 1. Map of volcanic hazard of Eastern Range volcanoes (Kamchatka). Main directions of large lahars are shown along river valleys.

1 – active volcanoes: 1.1 – whose eruptions were observed in historical time, 1.2 – which are in solfatarum stage of activity, 1.3 – potentially active volcanoes; 2 – hazard zoned, distinguished by the probability of eruption occurrence: 2.1 – one time in 5–10 years, 2.2 – one time in 10–50 years, 2.3 – one time in 50–100 years, 2.4 – one time in more than 100 years, 2.5 – zone with the highest danger level; 3 – tephra distribution, shown with isopaches; 4 – hypsometrical bar



на. Источник гипсометрических данных – SRTM (масштаб 1:100 000), по которой были построены горизонталы с шагом 100, 50 и 20 м. На базе SRTM создан также слой покрытия TIN (триангуляция) высокого разрешения, который используется в основном для вычислений, но может быть включён и в список отображаемых слоёв. Гидрографическую сеть наносили по топографическим картам (1:100 000), однако некоторые контуры уточняли по космическим снимкам, так как карты содержат информацию о состоянии территории только за 1973–1979 гг. Все объекты гидрографической сети разделены на две категории (соответствуют двум слоям в БД) – площадные (озёра, крупные реки, которые необходимо было представлять в масштабе карты) и линейные (мелкие водотоки). В атрибутивной таблице слоя приведены их название, принадлежность к единице территориального деления Российской Федерации, код, согласно кадастру рек СССР, и тип. Так как изучаемая территория находится в прибрежной зоне, отдельным слоем в проекте дана конфигурация береговой линии, нанесённая по космическим снимкам SPOT 2007 г.

Источником для нанесения *населённых пунктов*, находящихся в пределах изучаемой территории, также служили топографические карты масштаба 1:100 000. В базу данных ГИС включены слои, отражающие общую площадь, занимаемую населёнными пунктами и промышленными объектами, отдельно показаны кварталы и улицы в городах.

Дорожная сеть, которая сильно изменилась за последние 30 лет, корректировалась по космическим снимкам SPOT 2007 г. (разрешение 15 м). Выделено четыре типа дорог: шоссе и улучшенное шоссе; улучшенные грунтовые дороги; просёлочные грунтовые дороги; лесные, полевые дороги и тропы. К этому разделу относятся также *ледники и снежный покров*, однако ввиду особого внимания в ГИС к гляциологической части они были выделены в отдельный раздел. Оледенение вулканов представлено двумя базовыми слоями: в первом случае контуры ледников наносились по топографическим картам масштаба 1:25 000

(состояние территории в 1973–1979 гг.), во втором – по космическим снимкам SPOT и ASTER 2009–2012 гг., что позволяет нам проследить их динамику за последние 35 лет.

База данных ГИС содержит также информацию, опубликованную в научной печати (включая карты и схемы по вулканической опасности [2, 18 и др.]). В частности, отмечены территории, находящиеся в зоне схода пирокластических потоков и в лахароопасной зоне (в обоих случаях выделено три уровня опасности – низкий, умеренный и высокий). В базе данных содержится также информация по историческим лахарам, чьи следы обнаружены в окрестностях вулканов. Данный слой – полигонален, т.е. в нём отмечены границы областей, подвергшихся воздействию потоков конкретных извержений. Кроме того, выделены секторы вблизи вулкана, показывающие наиболее вероятное направление движения эруптивных туч, схода пирокластических и грязевых потоков. Более детальную картину дают выделенные площади вокруг всех действующих вулканов Камчатки, отвечающие территории, в принципе подверженной каким-либо воздействиям (см. рис. 1).

Известно, что основной источник воды для наиболее крупных лахаров на Камчатке – снежный покров. В связи с этим в систему слоёв разрабатываемой ГИС включена *карта снегозапасов* из Атласа снежно-ледовых ресурсов мира [1, с. 168; 11], приведённая к масштабу 1:100 000 для исследуемой территории (рис. 2). Затем средствами интерполяции ArcGIS карта была пересчитана на поверхность точек водозапаса в снежном покрове по сетке 200 × 200 м, используемых для автоматизированного расчёта объёма талой воды с участков склонов вулканов, попадающих под воздействие извержения. Поверхность интерполяции и изолинии вынесены в отдельную группу в системе разрабатываемой ГИС.

Моделирование зон затопления. Как правило, сход лахаров приурочен к долинам временных водотоков (сухих рек), дренирующих склоны и подножия активных вулканов. Поэтому основными объектами данного исследования стали водотоки Ключевского вулканического массива, когда-либо

Рис. 2. Среднегоголетние снегозапасы на дату максимума для территории Восточного вулканического хребта.

1 – активные вулканы: *1.1* – известны извержения в историческое время, *1.2* – находятся в сольфатарной стадии деятельности, *1.3* – потенциально действующие вулканы; *2* – максимальные снегозапасы; *3* – изолинии максимально возможной толщины снежного покрова, мм

Fig. 2. Mean annual stocks of snow for maximum date, for the territory of East volcanic Range. *1* – active volcanoes: *1.1* – whose eruptions were observed in historical time, *1.2* – which are in solfatarum stage of activity, *1.3* – potentially active volcanoes; *2* – mean annual stocks of snow for maximum date; *3* – isolines of maximum possible snow height, mm

служившие путями схода лахаров и относящиеся к потенциально лахароопасным. Для выделения на склонах вулканов зон возможного затопления лахарами различных объёмов Американская Геологическая служба в 1998 г. разработала программу LANARZ [21]. В данной программе зоны возможного затопления выделяются на основе анализа цифровой модели рельефа (ЦМР), охватывающей собственно постройку вулкана и прилегающие территории. Общая площадь зоны затопления, а также площадь поперечного сечения потока рассчитываются исходя из задаваемого пользователем объёма лахара с помощью двух эмпирических зависимостей, полученных путем анализа последствий схода 27 лахаров на девяти вулканах Северной Америки [20]. Ширина потока рассчитывается по ЦМР путём сопоставления профиля долины и площади поперечного сечения потока и зависит от поперечного профиля долины, по которой сходит лахар. Расчёт выполняется последовательно сверху вниз вдоль русла потока для каждого поперечного профиля долины с шагом в одну ячейку ЦМР до тех пор, пока площадь зоны затопления в плане не достигнет рассчитанного значения. Результаты моделирования могут меняться в зависимости от точности цифровой модели рельефа.

Картографирование лахароопасности для Ключевского вулканического массива. Обсуждение результатов

На основании данных о снегозапасах на склонах вулканических построек оценен объём выноса твёрдого материала лахарами на сухих реках Ключевского вулканического массива. В создаваемой ГИС «Северная группа вулканов» выделен целый блок, посвящённый картографированию и оценке лахароопасности района. В связи с высокой лахароопасностью района стоит задача не только рассчитать количественные параметры уже сошедших лахаров, но и приблизительно оценить максимально возможные объём и протяжённость потоков, что позволит предотвратить катастрофические последствия в будущем. На рис. 3 дана карта, охватывающая часть территории Ключевского массива, которая показывает лахароопасность исследуемого района. Как уже отмечалось, путями схода лахаров чаще всего служат русла сухих рек, «стекающих» с вулканов. Отметим, что максимальные объёмы характерны для потоков, образовавшихся в зимнее и весеннее время, когда склоны вулканов покрыты мощным слоем снега. Именно снег, который тает намного интенсивнее, чем лёд в пределах ледников, служит основным ис-

точником воды в формирующемся лахаре и обуславливает его значительный объём и большую дальность пробега. Лахары, имеющие только ледниковое питание, т.е. образовавшиеся в конце сезона снеготаяния, не представляют собой большой угрозы, так как характеризуются малыми объёмами и небольшой дальностью воздействия.

30 марта 1956 г. со склонов вулкана Безымянный сошёл катастрофический лахар. В результате взрыва, выпадения раскалённого пепла и схода пирокластических потоков полностью стаял слой снега толщиной 1–2 м. За счёт значительного количества талой снеговой воды объёмы этого потока были гигантские (общий объём потока оценён в 0,3 км³), а дальность пробега достигла 80–90 км. На рис. 3 штриховкой показан путь следования этого лахара, а также других, сошедших со склонов Ключевского вулкана в 1990-е годы и непосредственно угрожавших пос. Ключи. Отметим, что все русла в пределах поражаемой вулканом зоны могут стать путями возможных лахаров, независимо от того, питаются они тальми водами со склонов действующего вулкана или нет. Так, в 1956 г. часть бассейна р. Сухая Зими́на, расположенного на склоне потухшего вулкана Большая Зими́на, попала в зону отложений раскалённых обломков направленного взрыва вулкана Безымянный, что привело к образованию грязекаменного потока, влившееся затем в основное тело описанного ранее катастрофического лахара.

Однако основным источником воды, необходимой для образования потока летом, служат ледники, поэтому небольшие лахары могут сойти лишь по долинам рек и временных водотоков с ледниковым питанием. Исходя из этого на представленную карту (см. рис. 3, знак 2) штриховкой нанесены водотоки, которые с наибольшей вероятностью станут путями схода лахаров. Источниками для картографирования этих данных послужили космические снимки и схемы, составленные для ряда конкретных извержений. Границы потоков, нанесённые на схемы, сопоставлялись с космическими изображениями и существенно корректировались. На данную карту нанесены также границы субаэральные дельт сухих рек, которые принято считать следами сходов древних лахаров. Эта зона отложений соответствует месту наиболее вероятной остановки потоков. Контуры очерчивались на основе дешифрирования космических снимков, на которых конусы выноса сухих рек имеют характерный веерообразный рисунок (ASTER, лето 2000 г.,

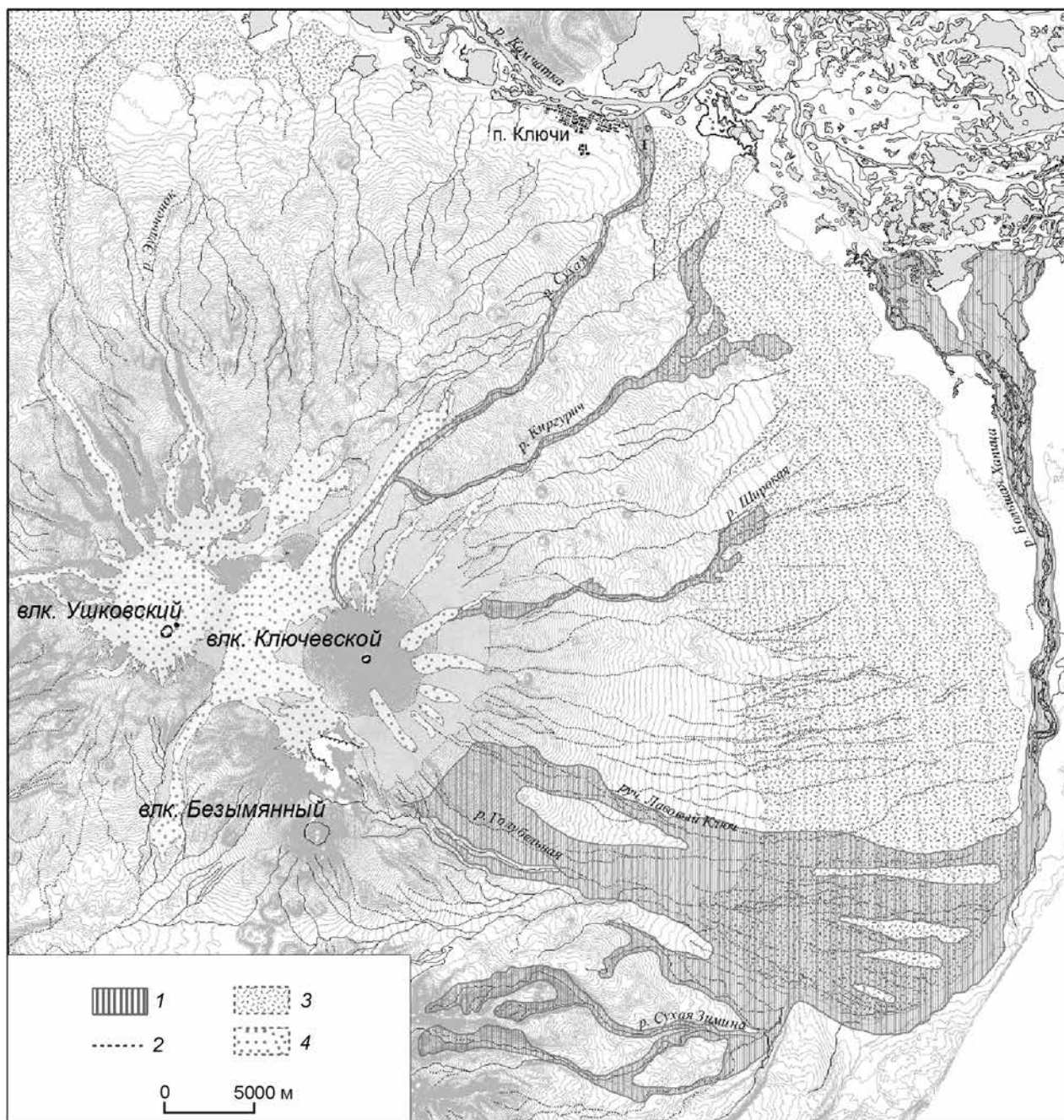


Рис. 3. Карта лахароопасности Ключевского вулканического массива (действующие вулканы – Ключевской и Безымянный). Характеристики лахаров, представленные в БД ГИС «Лахароопасность»: 1 – лахары в исторический период времени; 2 – направления схода потенциальных лахаров по временным водотокам; 3 – конусы выноса отложений лахаров – субаэральные дельты водотоков со склонов вулканического массива; 4 – современное оледенение Ключевского и Ушковского вулканов

Fig. 3. Lahar-hazard map for the Klyuchevsky volcanic massif (active volcanoes are Klyuchevskoy and Bezymyanni). Characteristics of lahars presented in a DB of the GIS «Lahar-Hazard»: 1 – lahars during the historical time; 2 – directions of movement of potential lahars on temporary waterways; 3 – debris cones of lahar deposits – subaerial deltas of water currents from slopes of the volcanic massif; 4 – recent glaciation of Klyuchevsky and Ushkovsky volcanoes

разрешение 15 м), что позволило нам выделить водотоки, по руслам которых раньше чаще всего сходили грязекаменные потоки. Это очень важно для дальнейшего анализа и прогноза.

В качестве примера расчёта зон затопления лахарами с помощью модели мы использовали ЦМР, построенную по данным SRTM с разрешением 100 × 100 м. Моделирование выполнено

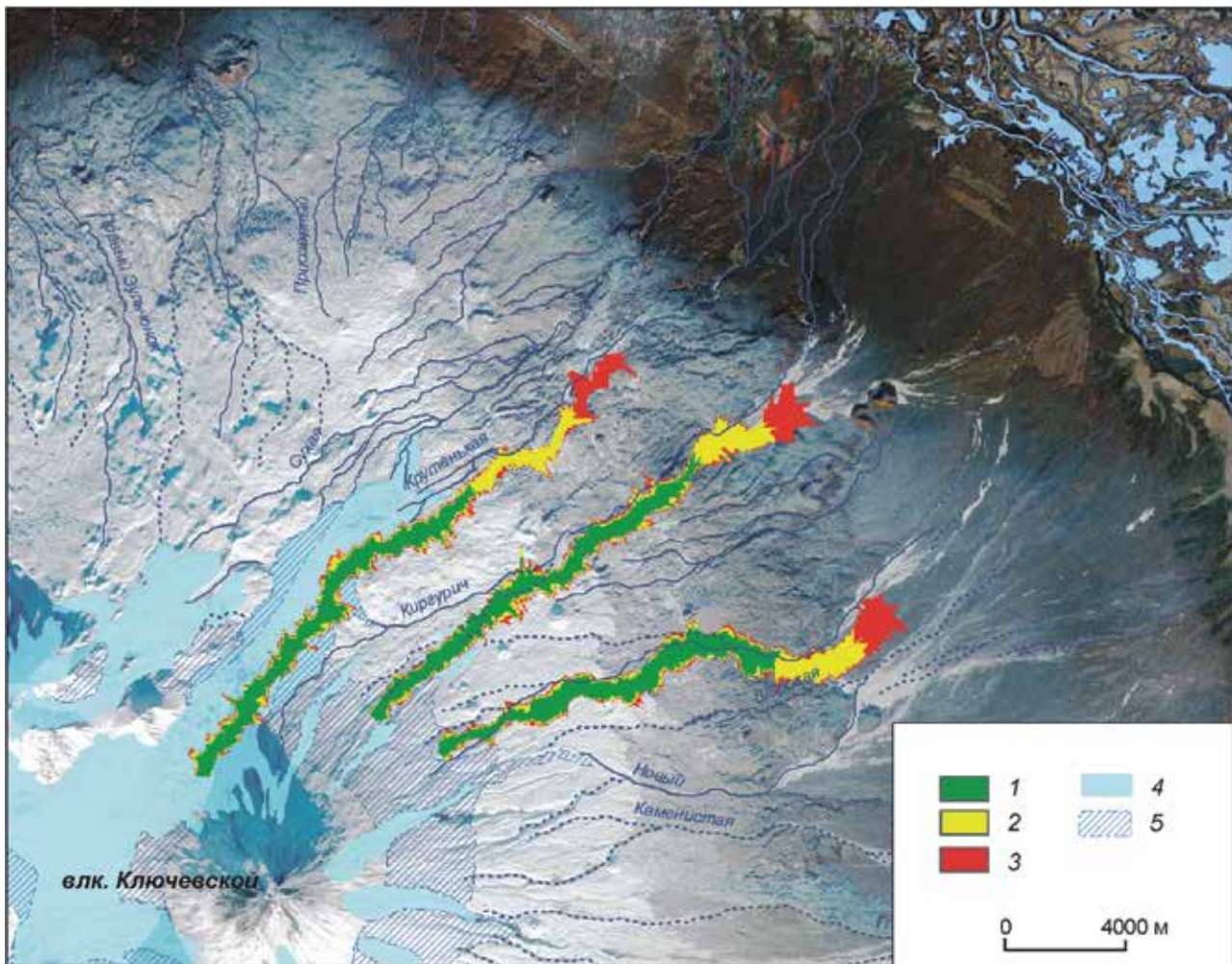


Рис. 4. Результаты моделирования в программе LANARZ зон возможного затопления лахарами различных объёмов северо-восточного подножия Ключевского вулкана.

Объёмы возможных лахаров, млн м³: 1 – 7, 2 – 14, 3 – 21; 4 – ледники; 5 – пассивные и мёртвые льды

Fig. 4. LANARZ program outcome-inundation zones by lahars of different volumes in three valleys on the northeast slope of Klyuchevsky volcano.

Volumes of possible lahars, mil m³: 1 – 7, 2 – 14, 3 – 21; 4 – glaciers; 5 – passive and dead ice

для трёх бассейнов на северо-восточном склоне Ключевского вулкана (рис. 4). Результаты применения модели для лахаров этого вулкана показали её некоторую ограниченность. Данные расчёта площади зон затопления при заданных объёмах грязевых потоков в 7, 14 и 21 млн м³ хорошо коррелируют с зоной отложения лахарами крупнообломочного материала, однако площади тонкообломочных отложений на конусах выноса субаэральных дельт у подножия вулкана не учитываются программой.

Как уже отмечалось, основными источниками воды для наиболее катастрофических лахаров на Камчатке служат снежный покров и ледники. В связи с этим в систему слоёв разрабатываемой

ГИС была включена информация о снегозапасах в пределах исследуемой территории (полевые наблюдения разных лет) и об изменении площади ледников за последние 40 лет (увеличение или сокращение площади ледника приводит к изменению водозапаса в конкретной точке). В среде ArcGIS выполнена интерполяция поверхности с разрешением 200 × 200 м и построены линии равных снегозапасов (в водном эквиваленте), которые позволяют получить общее представление о распределении толщины снежного покрова по территории. Поверхность интерполяции, изолинии и распределение современных ледников вынесены в отдельную группу слоёв в разрабатываемой системе.

Заключение

Опасные процессы на склонах действующих вулканов, покрытых снегом и льдом, наблюдаются достаточно часто. В условиях Камчатки лахары формируются в результате интенсивного таяния снега и льда, вызванного выбросом на поверхность раскалённого материала. Такие потоки, насыщенные вулканическим пеплом, шлаками, обломками и глыбами лавы, достигающими нескольких метров в поперечнике, двигаются со скоростью до 70 км/ч, что может привести к значительным разрушениям и даже к человеческим жертвам. Подобные события – один из главных, наряду с выпадением тефры, элементов вулканической опасности для обширных территорий. Особенность водных потоков вулканического генезиса состоит в том, что их образование возможно в течение всего года, в то время как водные потоки, обусловленные климатическими причинами, могут формироваться и сходиться только в тёплый сезон года.

В крупномасштабных локальных ГИС для вулканических групп и отдельных вулканов создана база данных, ориентированная на картографирование и оценку лахароопасности окружающих территорий. В качестве примера составлена карта лахароопасности для центральной части Ключевской группы вулканов, приведены результаты расчётов дальности выбросов и максимальной площади отложения вынесенного материала в зависимости от характера и мощности извержения. В дальнейшем, на основе материалов, суммированных в среде ГИС «Вулканическая опасность Курило-Камчатской островной дуги», должны быть выполнены оперативные расчёты максимально возможных объёмов потоков и площадей их распространения.

На основании данных о запасах снега и льда на склонах вулканических построек оценён объём выноса твёрдого материала лахарами на склоны и к подножию Ключевского вулканического массива. При среднем многолетнем накоплении снега в зоне формирования грязевых потоков их объём часто достигает 15–17 млн м³. В случаях же мало-снежности или, наоборот, многоснежности зим эта величина может варьировать до 50% в сторону уменьшения или увеличения по отношению к норме. В дальнейшем, на основе материалов ГИС, расчёты максимально возможных объёмов потоков будут выполняться в режиме реального времени с учётом характера и мощности извержения вулкана и запасов снега, а также льда в селеформирующих бассейнах.

Литература

1. Атлас снежно-ледовых ресурсов мира / Под ред. В.М. Котлякова. М.: изд. Российской академии наук, 1997. 392 с.
2. Базанова Л.И., Брайцева О.А., Мелекесцев И.В., Пузанков М.Ю. Потенциальная опасность от извержений Авачинского вулкана // Геодинамика и вулканизм Курило-Камчатской островодужной системы. Петропавловск-Камчатский: изд. ИМГиГ ДВО РАН, 2001. 428 с.
3. Былинкина А.А. К исследованию сухих рек Ключевского вулкана (летом 1950 года) // Тр. Лаборатории вулканологии. Вып. 8. М.: Изд-во АН СССР, 1954. С. 236–242.
4. Виноградов В.Н., Муравьев Я.Д. Взаимодействие лавы и льда на Ключевском вулкане при извержении 1983 г. // Вулканология и сейсмология. 1985. № 1. С. 29–46.
5. Виноградов В.Н., Муравьев Я.Д. Ледник Козельский (Авачинская группа вулканов). СПб.: Гидрометеоздат, 1992. 119 с.
6. Горбеев Е.И., Дрознин В.А., Дубровская И.К., Муравьев Я.Д., Овсянников А.А. Корякский вулкан – современное состояние и активизация 2008–2009 гг. // Вестн. ДВО РАН. 2011. № 3. С. 25–34.
7. Горшков Г.С., Богоявленская Г.Е. Вулкан Безымянный и особенности его последнего извержения 1955–1963 гг. М.: Наука, 1965. 172 с.
8. Дрознин В.А., Муравьев Я.Д. Энергетический и экологический аспекты извержения вулкана Авачинский на Камчатке // Вулканология и сейсмология. 1994. № 3. С. 3–19.
9. Евдотьев Ю.А. Селевая опасность горных районов Камчатки // Гляциол. исследования. № 25. М.: Наука, 1976. С. 80–85.
10. Краевая Т.С. Сухие реки районов Ключевской и Авачинской групп вулканов // Вопросы географии Камчатки. 1964. Вып. 2. С. 56–62.
11. Муравьев Я.Д. Снежный покров горных районов Камчатки // Вопросы географии Камчатки. 1985. № 9. С. 30–40.
12. Муравьев Я.Д. Газовое извержение в колкинском цирке – возможная причина развития подвижек ледника по катастрофическому сценарию // МГИ. 2005. № 98. С. 44–51.
13. Муравьев Я.Д., Саламатин А.Н. Прогнозная оценка динамики ледниковых масс в вулканотектонических желобах Ключевского вулкана // Вулканология и сейсмология. 1993. № 4. С. 43–53.
14. Муравьев Я.Д., Клименко Е.С., Дмитриева Ю.А. К созданию ГИС «Вулканоопасность» // ARCREVIEW. 2010. № 2. С. 12–13.
15. Новограбленов П.Т. Извержение Авачинского вулкана в 1926 году // Изв. Гос. РГО. 1926. Т. 53. № 2. С. 79–92.
16. Пийп Б.И. Извержение вулкана Авача в 1938 г. // Бюл. вулканол. станции. 1941. № 10. С. 12–22.
17. Пийп Б.И. Ключевская сопка и ее извержения в 1944–1945 гг. и в прошлом. // Тр. Лаборатории вулканологии. 1956. Т. 11. 399 с.
18. Федотов С.А., Хубуная С.А., Жаринов Н.А., Богоявленская Г.Е., Муравьев Я.Д., Иванов В.В., Демянчук Ю.В., Фазлуллин С.М., Новгородцева Т.Ю., Девигало В.Н., Будников В.А. Извержения вулканов Шивелуч и Ключевской в 1993 г. и их влияние на окружающую среду // Геология и геофизика. 1995. Т. 36. № 8. С. 117–131.

19. Черноморец С.С., Сейнова И.Б. Селевые потоки на вулканах. М: Изд-во Учебно-научного центра довузовского образования, 2010. 72 с.
20. Iverson R.M. Schilling S.P., Vallance J.W. Objective delineation of lahar-inundation hazard zones // Geol. Soc. Amer. Bull. 1998. V. 110. P. 972–984.
21. Schilling S.P. LAHARZ: GIS programs for automated delineation of lahar hazard zones U.S. // Geol. Sur. Open-file Rep. 1998. P. 98–638.

Summary

On the Kamchatka peninsula, lahars or volcanogenic mudflows arise as a result of intensive snow melting caused by incandescent material ejected by volcanoes onto the surface. Such flows carrying volcanic ash and cinders together with lava fragments and blocks move with a speed up to 70 km/h that can result in significant destructions and even human victims. Formation of such water flows is possible during the whole year.

Large-scale GIS «Hazards of lahars (volcanogenic mudflows)» has been developed for some volcano group as well as for individual volcanoes on the peninsula in framework of the GIS «Volcanic hazard of the Kuril-Kamchatka island arc». Main components of this database are the following: physical-geographical information on region of active volcanism and adjacent areas, on human settlements; data on the mudflow activity; data on distribution of

the snow and ice reserves. This database is aimed at mapping of surrounding territories and estimating a hazard of lahars.

For illustration the paper presents a map of the lahar hazards, results of calculations of the distances of ejections and maximal area of ejected material spreading in dependence on a character and power of an eruption. In future we plan to perform operational calculations of maximal possible volumes of such flows and areas of their spreading. The calculations will be made on the basis of the GIS «Volcanic hazard of the Kuril-Kamchatka island arc».

A volume of hard material carried by lahars onto slopes and down to foot of the Kluchevskaya volcanic massif is estimated on the basis of data on the snow and ice reserves on volcano slopes. On the average for many years, the snow accumulation in zones of the mudflow formations their volume often reaches 15–17 millions of cubic meters. Depending on the snowfall activity in different years this value may vary within 50% relative to the norm. Further on, calculations of maximal possible volume of such flows will be performed in a real time regime with regard for a character of power of a volcano eruption and reserves of snow and ice in the mudflow-forming basins. The main objective of this work is an effort to reduce a risk of a mudflow formation and to prevent possible damages.