

ВОЗРАСТ ЖОМБОЛОКСКОГО ЛАВОВОГО ПОЛЯ (*Восточный Саян*) ПО ДЕНДРОХРОНОЛОГИЧЕСКИМ И РАДИОУГЛЕРОДНЫМ ДАННЫМ

С.Г. Аржанников, А.В. Иванов, А.В. Аржанникова, Е.И. Демонтерова,
М. Жоливе*, В.И. Воронин**, В.А. Буянтуев**, В.А. Осколков**

Иркутск, Институт земной коры СО РАН, 664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 128, Россия

* Géosciences Rennes, UMR6118, CNRS-Université Rennes 1, Campus de Beaulieu, 35042 Rennes Cedex, France

** Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН, 664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 132, Россия

Приводятся новые данные о времени формирования Жомболокского лавового поля (Восточный Саян). На основе анализа космических снимков и цифровой модели рельефа, проведенных геолого-геоморфологических и дендрохронологических исследований, а также полученных данных радиоуглеродного датирования определено, что Жомболокское лавовое поле начало формироваться в конце позднего плейстоцена. В районе центров излияния лав выделяются как минимум четыре фазы активизации вулканизма. Фиксируются сближенные во времени первая и вторая фазы активизации, произошедшие более 13 тыс. лет назад. Возраст третьей фазы, связанный с вулканом Кропоткина, определен относительно. Следы наиболее молодых излияний (четвертая фаза) обнаружены в приустьевой части р. Жомболок в виде «свежих» базальтовых потоков, расположенных среди лав предыдущих генераций. Радиоуглеродное датирование и дендрохронологический анализ показали, что последняя фаза извержений произошла во временном диапазоне между периодом гибели погребенных деревьев 1268—928 лет назад и временем начала роста нового поколения деревьев на поверхности молодых лав 900 лет назад.

Дендрохронология, радиоуглеродное датирование, фазы активизации вулканизма, Восточный Саян, Жомболокское лавовое поле.

AGE OF THE JOMBOLOK LAVA FIELD (*East Sayan*): EVIDENCE FROM DENDROCHRONOLOGY AND RADIOCARBON DATING

S.G. Arzhannikov, A.V. Ivanov, A.V. Arzhannikova, E.I. Demonterova, M. Jolivet,
V.I. Voronin, V.A. Buyantuev, and V.A. Oskolkov

Dendrochronology and radiocarbon dating, with reference to remote sensing, digital elevation modeling, geological, and geomorphological data, provide new age constraints for the Jombolok lava field in the East Sayan Mountains (Siberia). The Jombolok lava field originated in the latest Late Pleistocene and underwent at least four phases of volcanic activity recorded in lava flows. Two earliest phases followed shortly one after another more than 13 kyr ago. The third phase corresponding to eruptions of Kropotkin Volcano can be timed only relatively. The fourth phase has been dated by dendrochronology and AMS ^{14}C of well-preserved wood buried under the youngest lava which occurs among older lavas near the Jombolok River mouth. The age of this activity is bracketed between the death of trees caused by eruptions 1268–928 years ago and the beginning of new tree growth on the surface of the most recent lavas 900 years ago.

Phases of volcanism, dendrochronology, radiocarbon dating, Jombolok lava field, East Sayan Mountains

ВВЕДЕНИЕ

Жомболокское лавовое поле расположено в горном массиве Восточного Саяна на границе Окинского плоскогорья и хр. Кропоткина, где заполняет большую часть долины р. Жомболок и долины Хи-Гол (рис. 1). Этот объект представлен шлаковыми конусами и базальтовым (гавайитовым) лавовым полем длиной около 75 км, шириной до 4 км и максимальной мощностью 150 м [Ярмолюк и др., 2003; Ivanov et al., 2011]. Абсолютные высоты верхней части потока достигают 2074 м, нижней — 1224 м.

История его изучения насчитывает более 230 лет, начиная с посещения долины р. Жомболок российским геодезистом Егором Пестеревым, работавшим в Иркутской губернии с 1772 по 1781 г. [Обручев, 1973]. Позже в долину вулканом приехал английский архитектор, художник и путешественник Т. Атkinson (1799—1861). Первое научное описание с параметрами лавового потока и вулканов дано П.А. Кропоткиным [1867]. Экспедиция иркутского горного инженера С.П. Перетолчина в 1914 г. закон-

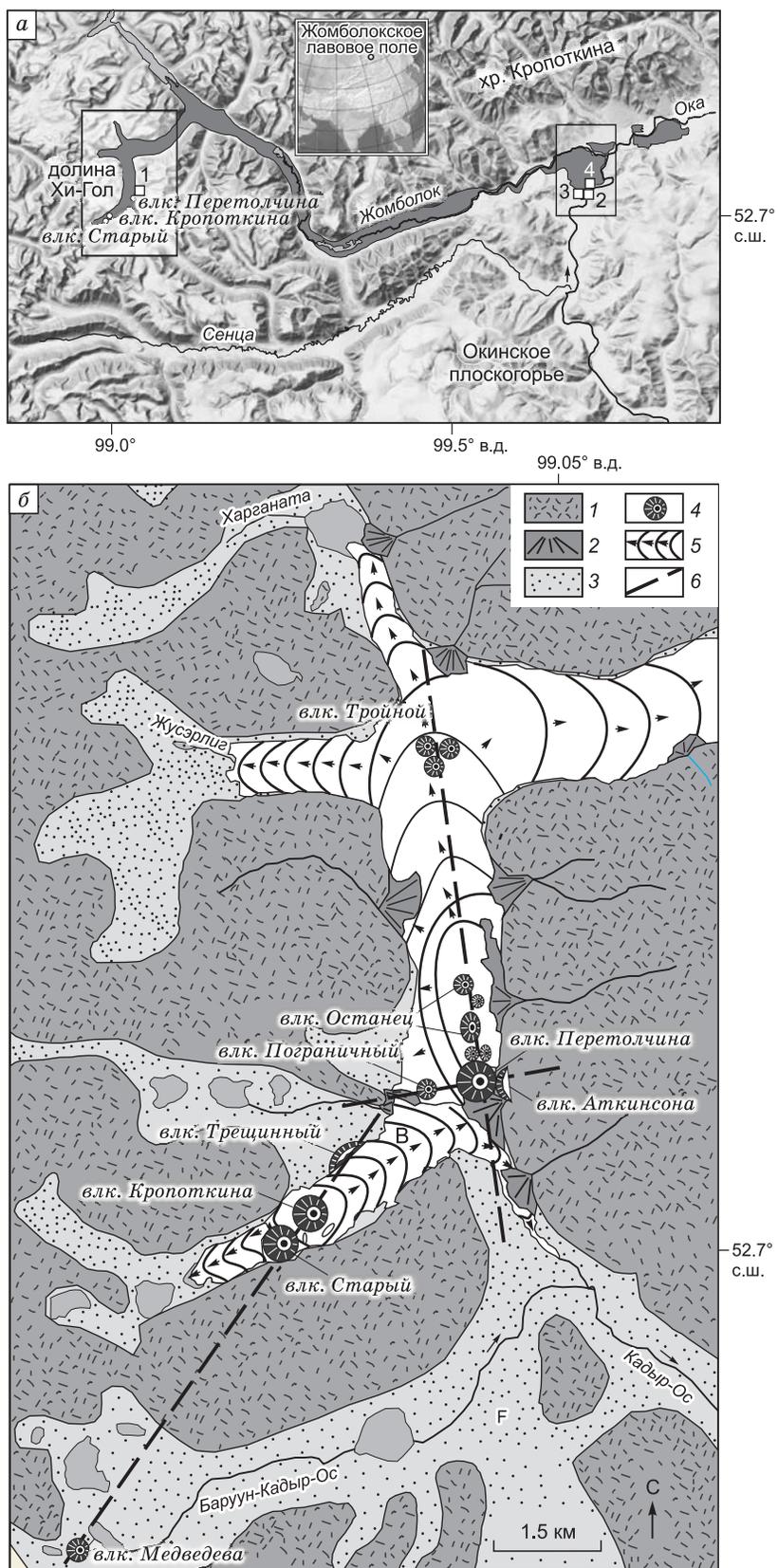


Рис. 1. а — орогидрография и местоположение Жомболокского лавового поля в хр. Восточный Саян.

Прямоугольниками обозначены районы полевых исследований. Белыми квадратами и номерами показаны изученные разрезы.

б — детальная схема расположения вулканов и лавовых полей в долине Хи-Гол [Ivanov et al., 2011].

1 — коренные породы, 2 — пролювий, 3 — водно-ледниковые породы, 4 — вулканы, 5 — направление потоков, 6 — разлом.

чилась его гибелью при невыясненных обстоятельствах. Позднее исследователи неоднократно посещали и изучали Жомболокское лавовое поле с центрами излияния лавы в долине Хи-Гол [Обручев, Лурье, 1954; Адамович и др., 1959; Гросвальд, 1965; Вулканизм..., 1979; Рассказов и др., 1996; Ярмолюк и др., 2003; Ivanov et al., 2011]. В результате были высказаны предположения о многофазности активизации вулканизма [Обручев, Лурье, 1954; Адамович и др., 1959; Вулканизм..., 1979] и тоннельном механизме формирования столь длинного Жомболокского лавового поля [Ярмолюк и др., 2003; Ivanov et al., 2011]. Многие отмечали, что возраст формирования вулканов и потока является послеледниковым. Была получена первая термолюминесцентная датировка (12 ± 4 тыс. лет) подстилающих лавы отложений [Рассказов и др., 1996], однако не имеющая географической привязки. Также удалось обнаружить погребенные пеплами влк. Аткинсона растительные остатки, для которых была получена радиоуглеродная датировка 6240 ± 120 лет [Ivanov et al., 2011]. К сожалению, при радиоуглеродном анализе данное значение возраста было значительно омоложено, что, как показано в этой работе, привело к неверным выводам.

Таким образом, уникальный объект голоценового вулканизма, достаточно хорошо изученный с геологических, геоморфологических и геохимических позиций, не получил должной возрастной оценки. Имеющиеся датировки [Рассказов и др., 1996; Ivanov et al., 2011] только подтверждают тезис о постледниковом формировании Жомболокского лавового поля, но не дают информации о начале вулканизма и его последующих фазах.

В связи с этим наши исследования были направлены на обобщение имеющейся и получение новой информации о времени активизации вулканизма в пределах Жомболокского лавового поля. Для определения возраста потоков лав нами проведен комплекс исследований в долинах рек Жомболок, Ока и долине Хи-Гол, в который входило дешифрирование космоснимков и аэрофотоснимков, изучение разрезов террас, шлаковых конусов, лавовых полей, отбор образцов на радиоуглеродный (^{14}C) и дендрохронологический анализы.

НЕОТЕКТОНИЧЕСКОЕ ПОЛОЖЕНИЕ РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЙ

В неотектоническом плане Жомболокское лавовое поле расположено в пределах активизированной в позднекайнозойское время Алтае-Саянской горной области. По последним данным термохронологических исследований [De Grave et al., 2003, 2007, 2011; Jolivet et al., 2007, 2013; Буслов и др., 2008; Аржанникова и др., 2013], Алтае-Саянская горная область считается самым северным регионом Центральной Азии, рельеф которого ассоциируется с внутриконтинентальными деформациями сжатия, вызванными Индо-Азиатской коллизией. Деформации сжатия и сдвига со сжатием характерны для большинства районов Центральной Азии, расположенных к северу от коллизионного фронта. Их распространение фиксируется горообразовательными процессами, в результате которых сформировался ряд горных систем от Тибета до Алтая. Восточно-Саянский горный массив расположен вдоль юго-западной границы Сибирской платформы и является северо-восточным окончанием Алтае-Саянской горной области. В целом район исследований развивается в транспрессионном деформационном режиме с осью сжатия северо-восточного направления, при котором наиболее крупные субширотные разломы играют роль левосторонних сдвигов. При этом области относительного растяжения, к которым относятся и районы позднекайнозойских вулканических проявлений, находятся в зоне влияния субширотных разломов и являются присдвиговыми областями растяжения [Arzhannikova et al., 2011].

ОТНОСИТЕЛЬНЫЙ ВОЗРАСТ ВУЛКАНОВ И ЛАВОВЫХ ПОЛЕЙ В ДОЛИНЕ ХИ-ГОЛ И В УСТЬЕ Р. ЖОМБОЛОК ПО ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИМ ДАННЫМ И ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Морфология вулканов достаточно подробно освещена в работах [Обручев, Лурье, 1959; Адамович и др., 1959; Вулканизм..., 1979; Ярмолюк и др., 2003; Ivanov et al., 2011]. В некоторых случаях предпринята попытка реконструировать ход вулканических событий и относительные этапы формирования, по меньшей мере, верхней части Жомболокского лавового поля.

В долине Хи-Гол имеются два крупных центра излияния лав (рис. 1, б), связанных с вулканами Старый, Трещинный, Кропоткина (первая группа) и Перетолчина, Аткинсона, Останец, Пограничный (вторая группа) [Ярмолюк и др., 2003; Ivanov et al., 2011].

В первой группе вулканов (рис. 2, а, б) выделяются вулканы Трещинный [Ярмолюк и др., 2003] и Старый [Адамович и др., 1959; Вулканизм..., 1979], фиксирующие ранний этап вулканизма. Вулкан Старый представляет собой сильно разрушенный конус, в который вложены три малых кратера с кольцевыми шлаковыми валами. Вулкан Трещинный, расположенный в левом борту долины Хи-Гол, был охарактеризован как самостоятельный центр извержения [Ярмолюк и др., 2003], хотя у предшественников он рассматривался как свидетельство активной эксплозивной деятельности вул. Старый [Обручев, Лурье, 1954; Вулканизм..., 1979]. Вулкан Кропоткина (см. рис. 2, а, б) представляет собой классический

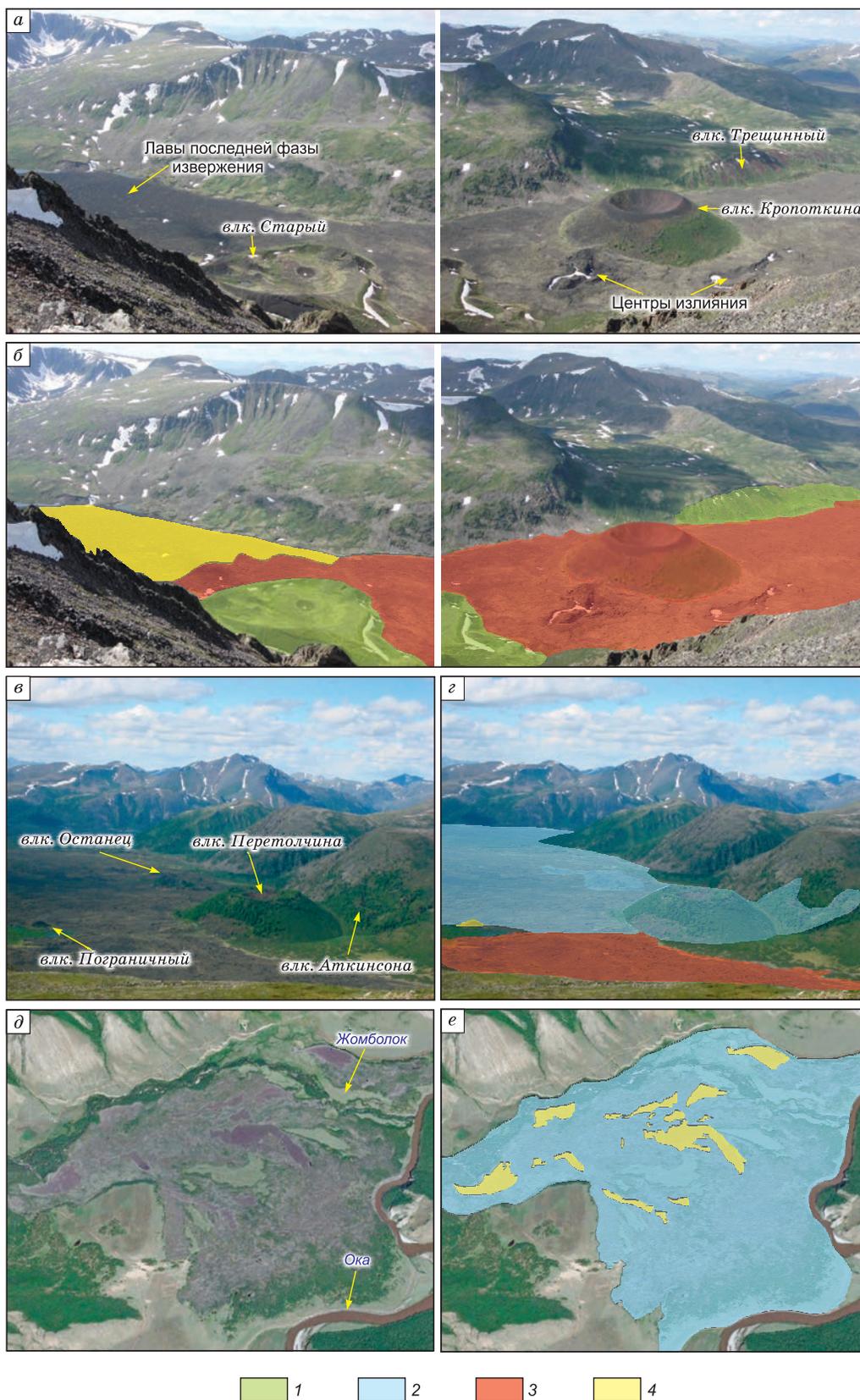


Рис. 2. Две группы вулканов и лавовые поля, расположенные в долине Хи-Гол и устьевой части р. Жомболок, и относительные этапы формирования Жомболокского лавового поля.

а, б — вулканы Старый, Трещинный, Кропоткина составляют первую группу; *в, г* — вулканы Перетолчина, Аткинсона, Останец, Пограничный составляют вторую группу [Ярмолюк и др., 2003; Ivanov et al., 2011]; *д, е* — приустьевая часть р. Жомболок. 1–4 — этапы 1–4 соответственно.

усеченный конус высотой более 100 м и морфологически выглядит намного моложе вулканов Старый и Трещинный. Между вулканами Старый и Кропоткина расположены еще два центра излияния, лавы которых являются наиболее молодыми по отношению к перечисленным вулканам, так как перекрывают их нижние части. Они представляют собой лавовые купола 150—200 м в поперечнике и до 20 м высотой. От их основания вытягиваются лавовые потоки, перекрывающие лавы ранних генераций [Обручев, Лурье, 1954; Вулканизм..., 1979]. Наиболее молодым вулканическим образованием морфологически выглядит лавовое поле, расположенное к юго-западу от влк. Старый (см. рис. 2, а, б). Лавовые потоки этого поля истекают из основания одного из центров, расположенного к югу от влк. Кропоткина, и распространяются в сторону верховья долины Хи-Гол. Их поверхность представлена валами течения и имеет более темный цвет в сравнении с окружающими лавами.

Во второй группе вулканов в начальные фазы извержений формировались вулканы Перетолчина и Аткинсона (см. рис. 2, в, з). Вулкан Перетолчина по размерам близок к влк. Кропоткина, с той лишь разницей, что его склоны заросли лиственницей и кустарниково-моховым покровом. Во внутренней части кратера выделяется террасовидная площадка. К северу от него расположен влк. Аткинсона, имеющий слабосформированный, частично размытый шлаковый конус мощностью 10 м, залегающий на ледниковых отложениях [Ярмолюк и др., 2003; Ivanov et al., 2011]. Формирование вулканов Перетолчина и Аткинсона происходило одновременно [Ivanov et al., 2011]. К северу от влк. Перетолчина расположена серия шлаковых конусов и лавовых куполов (см. рис. 2, в, з), разорванных трещинами [Обручев, Лурье, 1954]. Этот комплекс магмовыводящих каналов объединен под названием влк. Останец [Ярмолюк и др., 2003]. Имеется еще один невысокий двойной конус, расположенный к западу от влк. Перетолчина [Обручев, Лурье, 1959]. Он был назван влк. Пограничный, так как расположен в зоне границы между лавовыми потоками вулканов первой и второй групп [Ivanov et al., 2011].

Исходя из соотношения лавовых потоков, их гипсометрического положения, наличия или отсутствия шлаковых и пепловых отложений на поверхности склонов и базальтах, мы можем реконструировать относительный возраст каждого из центров и этапы формирования верхней части Жомболокского лавового поля.

В начале активизации вулканизма в верховьях долины Хи-Гол были активны вулканы Трещинный и Старый (см. рис. 2, б). Лавы этой фазы вулканизма скрыты потоками более поздних генераций. Трудно определить, насколько большой объем вулканитов пришелся на этот период извержений и насколько далеко лавы могли продвинуться по долинам Хи-Гол и Жомболок.

Во вторую фазу формировались вулканы Перетолчина, Аткинсона и Останец (см. рис. 2, з). В результате этих извержений долина Хи-Гол была заполнена лавами, и был сформирован крупный поперечный по отношению к долине лавовый вал, который в дальнейшем влиял на перераспределение поверхностных потоков последующих генераций.

Третья фаза активизации произошла в районе влк. Кропоткина и центра излияний, расположенного к югу от него (см. рис. 2, б). Лавы этой фазы, встретив на пути вал, сформировавшийся от излияний влк. Останец, потекли в долину р. Кадыр-Ос.

Четвертая фаза обозначена влк. Пограничный и молодым лавовым полем, расположенным к юго-востоку от влк. Старый (см. рис. 2, б, з). Необходимо отметить, что помимо двух крупных центров извержений в непосредственной близости от долины Хи-Гол имеются небольшие пятна лав и шлаков с собственными магмовыводящими каналами. К ним относятся небольшие центры извержений в долинах рек Харганата, Жусэрлиг, Баруун-Кадыр-Ос, а также небольшой лавовый поток на правом борту долины Хи-Гол над нижнем каровым озером [Медведев, 1970].

В результате крупных извержений были сформированы мощные лавовые потоки, которые заполнили долину Хи-Гол, почти всю долину р. Жомболок и вышли в долину р. Ока. При выходе базальтов из долины р. Жомболок произошло растекание лав широким веером в сторону Оки с подпором последней. Большая часть приледниковой флювиальной равнины, расположенной по периферии Жомболокской конечной морены, была погребена базальтовой лавой (см. рис. 2, д, е). Первичная ее поверхность имела характерный микрорельеф, представленный большим количеством ветвящихся каналов. Базальтовые потоки в первую очередь наследовали эти микродолины, а пространства между ними частично сохранились в виде незаполненных «окоп». Строение лавовых потоков хорошо видно в бортах долин рек Жомболок и Ока. В основном лавовая толща представлена одним потоком, и только в долине Оки, в устьевой части левого притока р. Сайлаг, фиксируются два потока.

В приустьевой части р. Жомболок несколько десятков полей молодых лав расположены в матрице базальтов ранних генераций (см. рис. 2, д, е). Морфологически лавы выглядят очень молодо. В то же время некоторые из них несколько отличаются друг от друга. Например, имеются потоки, где отсутствуют фрагменты старых лав, т. е. молодые потоки полностью перекрывают поверхность старых. В другом случае в поле молодых лав присутствуют небольшие фрагменты площадью первые метры или несколько десятков метров, представленные лавами предыдущих этапов излияния с хорошим расти-

тельным и лишайниково-моховым покрытием. В третьем случае происходило разрушение поверхности верхней лавовой корки старых лав и смешение их с обломками молодых лав. При этом сохранились большие площади смешанных участков с растительным покровом. Также имеются выходы молодых лав из трещин на поверхности старых потоков. Они ограничены малым объемом и представлены в виде небольших полей.

Таким образом, в приустьевой части р. Жомболок фиксируются как минимум две фазы вулканизма (см. рис. 2, *д*, *е*). Это в основном залесенные поверхности ранних лав, вскрытые эрозией в долинах рек Жомболок и Ока, и молодые лавы, расположенные в матриксе старых потоков на поверхности приледниковой флювиальной равнины.

Геоморфологические данные предшественников [Обручев, Лурье, 1954; Адамович и др., 1959; Вулканизм..., 1979] и наши исследования взаимоотношения элементов вулканического рельефа [Ivanov et al., 2011; Аржанников и др., 2015] свидетельствуют минимум о четырех фазах активизации.

Учитывая молодость вулканизма и низкие концентрации калия в лавах, попытка датирования продуктов вулканизма прямыми К-Аг и $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ методами была безуспешной. В связи с этим основные усилия были направлены на поиски углеродсодержащих материалов в пеплах и шлаках, в разрезах, подстилающих и перекрывающих вулканические рыхлые отложения, которые позволили бы определить временные рамки той или иной фазы вулканической активизации.

ИЗУЧЕНИЕ РАЗРЕЗОВ РЫХЛЫХ ОТЛОЖЕНИЙ В ДОЛИНЕ ХИ-ГОЛ И В ДОЛИНЕ Р. ОКА И РЕЗУЛЬТАТЫ ДЕНДРОХРОНОЛОГИЧЕСКОГО И РАДИОУГЛЕРОДНОГО ДАТИРОВАНИЯ

Долина Хи-Гол. Разрез 1 (рис. 3) расположен в точке с координатами N 52°43.108', E 99°02.516'. В процессе изучения территории в восточной части влк. Аткинсона была обнаружена 2-, 3-метровая толща шлаков, залегающая на верхней части правого борта небольшой каньонообразной долины [Ivanov et al., 2011]. В результате вскрытия шлаковой толщи было зафиксировано шесть пирокластических горизонтов различной мощности, залегающих на ледниковых валунах и суглинках. Нижняя часть разреза (горизонты А 1-3) представлена шлаками размером первые миллиметры. Верхняя часть разреза (горизонты А 4-6) сложена более крупной пирокластической фракцией, в среднем около 1 см. На поверхности горизонта А 3 обнаружены линзы 2—3 мм толщиной и 10—15 см длиной глинистого субстрата желтого цвета. Горизонты А 1-3 насыщены норами мелких грызунов, которые не прослеживаются в горизонт А 4. На контакте горизонтов А 3 и А 4 были обнаружены небольшие фрагменты растительности (см. рис. 3). Таким образом, полученные данные по горизонтам А 1-3 и А 4-6 свидетельствуют о двух различных актах извержений влк. Аткинсона с перерывом как минимум в несколько лет. Фрагмент растительности (обр. НГ-04-01) был подвергнут радиоуглеродному анализу жидкостно-сцинтилляционным методом. Полученный радиоуглеродный возраст составляет 6240 ± 120 лет [Ivanov et al., 2011]. Позже в результате возникших сомнений образец был вновь датирован, но уже AMS-методом. Радиоуглеродный возраст образца составил 11555 ± 35 лет (табл. 1).

Долина р. Ока. Дальнейший ход исследований и выбор объектов для изучения был продиктован необходимостью определения возраста поверхности, на которую налегают лавы, и возраста осадков, перекрывающих лавы. Это позволяет определить временной период, в течение которого произошло заполнение долины лавами и, соответственно, время вулканической активизации.

В результате выхода лав в долину р. Ока и заполнения ими ее русла на протяжении 5 км сформировалась протяженная дамба высотой 30 м (рис. 4, *а*). В результате блокирования долины были созданы условия для образования подпорного водоема, в акватории которого начали накапливаться мелкозернистые осадки (см. рис. 4, *б*). Формирование подпорного озера совпало с периодом интенсивного размыва ледниковых и водно-ледниковых отложений в долинах рек Сенца, Ока и Тисса. В воде, поступавшей в подпорное палеозеро, присутствовало большое количество песчаной и алевритовой фракции («ледниковой муки»). Это свидетельствует о времени продолжающегося или близкого к завершению основного этапа деградации оледенения в этой части Восточного Саяна. Исходя из данных бериллиевого датирования экспонированных поверхностей ледниковых валунов сенцинской и сайлагской морен, начало деградации оледенения в этом районе произошло не ранее 16 тыс. лет назад [Arzhannikov et al., 2012]. В настоящее время осадки подпорного водоема сохранились на поверхности лавового потока ранней генерации (см. рис. 4, *б*). В связи с тем, что переток воды через протяженную пятикилометровую дамбу происходил широкой полосой, сохранилось достаточно большое поле отложений, потенциально богатое законсервированной информацией о палеогеографической обстановке того времени.

Таким образом, объектом исследований была выбрана 20—25-метровая терраса (см. рис. 4, *а*, *б*), сформированная в результате вреза в лавовую дамбу. Терраса состоит из трех пачек: в основании залегают грубозернистый аллювий (см. рис. 4, *в*), сформированный до начала вулканизма в долине Хи-Гол. Средняя часть представлена лавовым потоком, верхняя — сложена песками, супесями и суглинками.

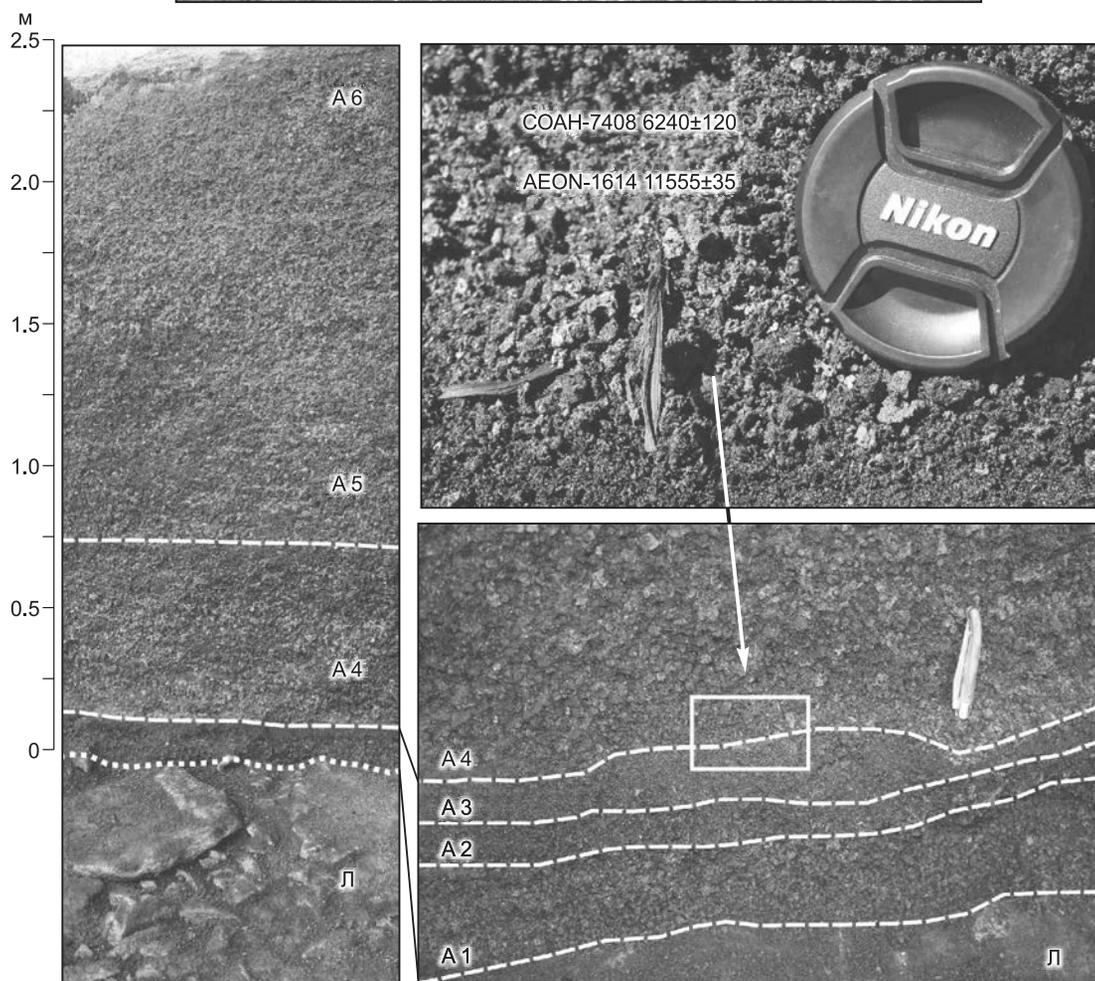
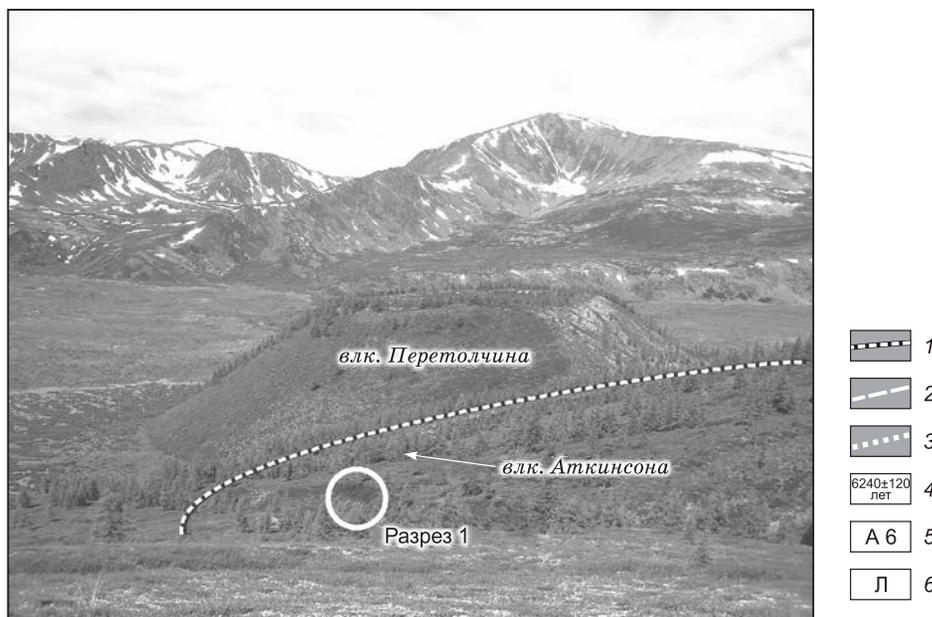


Рис. 3. Разрез 1 расположен в восточной краевой части вулкана Аткинсона.

1 — краевой вал вулкана Аткинсона; 2 — границы между горизонтами шлаков различной размерности и цвета; 3 — контакт между водно-ледниковыми отложениями и шлаками влк. Аткинсона; 4 — радиоуглеродный возраст растительных остатков (лет); 5 — последовательная нумерация шлаковых горизонтов; 6 — водно-ледниковые отложения. Рисунок заимствован из работы [Ivanov et al., 2011].

Таблица 1. Результаты датирования радиоуглеродным методом (^{14}C)

Лабораторный номер	Номер образца	Материал	Метод датирования	^{14}C	Калиброванный возраст, лет назад
СОАН-7408*	HG-04-01	Растение	LSC	6240 ± 120	6879—7421
ОхА-22574**	Ока-08-01	Уголь	AMS	11190 ± 55	12904—13167
AEON 1327***	Ока-10-05	Ракушка	»	11550 ± 45	13291—13468
AEON 1465***	JM-13-23	Уголь	»	11460 ± 45	13214—13406
AEON 1614***	HG-04-01	Растение	»	11555 ± 35	13303—13465
AEON 1628***	JMB13-6	Дерево	»	1245 ± 25	1082—1268
СОАН-9159*	JMB13-7	»	LSC	1120 ± 55	935—1153
СОАН-9160*	JMB13-9	»	»	1095 ± 40	928—1082

Примечание. Предварительная обработка образцов для радиоуглеродного датирования выполнена с использованием оборудования ЦКП «Геохронология и геодинамика» Института земной коры СО РАН. Полученные в процессе исследований радиоуглеродные даты были откалиброваны в программе Calib Rev 7.0.4 [Stuiver, Reimer, 1993] с доверительным интервалом $\pm 2 \sigma$.

* Определение остаточной активности углерода выполнено в лаборатории геологии и палеоклиматологии кайнозоя (ИГМ, г. Новосибирск) на установке QUANTULUS-1220 (Liquid Scintillation Counters). Для расчета возраста использован период полураспада ^{14}C , равный 5570. Возраст рассчитан от 1950 г.

** Радиоуглеродное AMS датирование выполнено в лаборатории Оксфордского университета (OXSFORD).

*** Радиоуглеродное AMS датирование выполнено в лаборатории AEON, г. Туксон, США.

Разрез 2 расположен в точке с координатами N 52° 43.496', E 99° 41.754'. Для определения возраста озерных отложений и, соответственно, близкого по времени подпора базальтами р. Ока нами была заложена серия шурфов в рыхлых осадках, налегающих и прислоненных к базальтовому потоку в верхней части террасы. В стенке одного из них, вскрывающего рыхлые отложения, фиксируются две пачки мелкозернистого аллювия (см. рис. 4, з). В нижней части разреза выделяются косослоистые и горизонтально-слоистые разнозернистые пески рыжего и серого цветов.

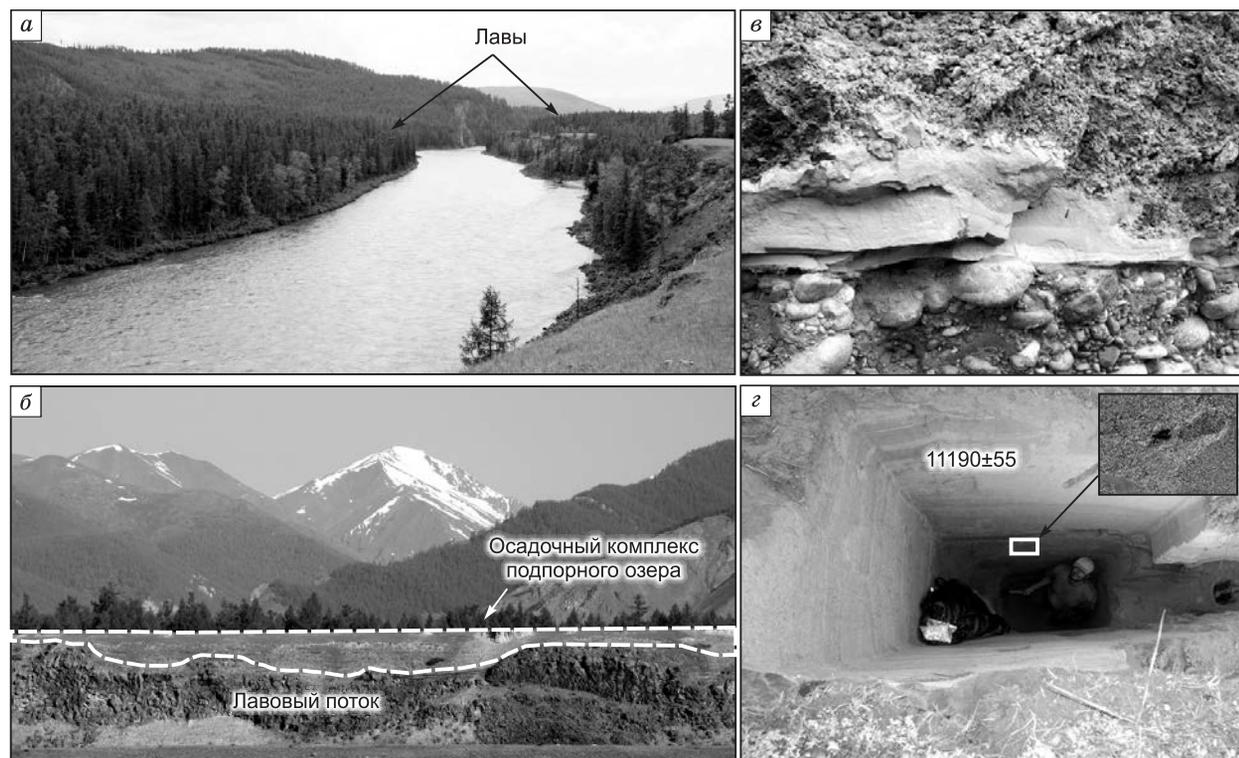


Рис. 4. Район приустьевой части р. Жомболок.

а — участок долины р. Ока, врезанный в тело лавовой дамбы; б — 25—30-метровый лавовый уступ в долине р. Ока, перекрытый толщей озерно-речных отложений, формировавшихся в условиях подпорного водоема; в — контакт аллювиальных отложений и лавового потока в долине р. Ока; з — шурф, заложенный в озерно-речных отложениях на лавовом 25—30-метровом уступе в долине р. Ока (разрез 2). Приводится радиоуглеродная дата (лет) обугленной древесины, обнаруженной в песчаных отложениях.

В верхней части разреза залегает пачка супесчано-суглинистых отложений, имеющих ясную горизонтальную слоистость, иногда нарушаемую мелкими сингенетическими мерзлотными трещинами и клиньями. Выделяемые пачки мелкозернистого аллювия характеризуют динамику водного потока в условиях формировавшегося подпорного водоема. Начальный этап отражен в накоплении песчаной фракции, которая сменяется более мелкозернистыми супесчано-суглинистыми отложениями в условиях увеличения глубины подпорного озера. В отложениях верхней пачки зафиксировано небольшое сезонное изменение уровня палеоозера, при котором в зимний период обнажавшиеся в прибрежной части осадки подвергались мерзлотным деформациям (мерзлотные клинья).

В процессе вскрытия рыхлых отложений на глубине 2 м был обнаружен фрагмент обугленной древесины (см. рис. 4, з). Проведенное радиоуглеродное AMS-датирование обр. Ока-08-01 показало, что радиоуглеродный возраст угля составляет 11190 ± 55 лет (см. табл. 1).

В связи с тем, что возраст угля может не совпадать с возрастом формирования толщи рыхлых отложений подпорного водоема, мы акцентировали внимание на поиске малакофауны в прибрежной части подпорного палеоозера.

Разрез 3 расположен в точке с координатами N $52^{\circ} 43.334'$, E $99^{\circ} 40.927'$. Шурф был заложен в уступе 20—25-метровой террасы р. Ока на глубину 1.2 м (рис. 5, а) с целью обнаружения и отбора фаунистических остатков на радиоуглеродное датирование. По всей толще супесчано-суглинистых осадков во вскрытом шурфе присутствуют гастроподы разных видов. На глубине 0.5 м для определения возраста вмещающих озерных отложений были отобраны ракушки семейства улиток «янтарки» (*Succineidae*). Полученная радиоуглеродная AMS-дата ракушки (обр. Ока-10-05) составляет 11550 ± 45 лет (см. рис. 5, а, в; табл. 1).

Разрез 4 расположен в точке с координатами N $52^{\circ} 43.158'$, E $99^{\circ} 41.535'$. Этот объект исследований представляет собой разрез подбазальтовых аллювиальных отложений (см. рис. 5, б). В основании разреза залегают отложения, формировавшие флювиальную приледниковую равнину во фронтальной части Жомболокского ледника. Они представлены валунами, галькой и разнозернистым песком. Выше залегает слой светлых суглинистых слоистых отложений мощностью до 10 см, насыщенный в своей верхней части гумусом и большим количеством растительных остатков. На гумусированных отложениях залегает лавовый поток. На контакте лав с подстилающими отложениями имеется большое количество обугленных фрагментов растительности. В некоторых местах по простиранию разреза нижняя часть лавового потока имела контакт с водной средой, выраженный в виде шаровых отделностей и скопления мелких, подобных гиалокластитам, обломков. В разрезе лавовый поток также имеет столбобразные деформации внедрения испарявшейся воды. Подбазальтовая поверхность на момент излияния, вероятно, представляла собой старицу с мелким водоемом или затопленную поверхность низкой поймы в период половодья или паводка.

Обнаруженные на контакте лав и гумусированных суглинков обугленные фрагменты растительности (обр. JM-13-23) были отобраны для датирования AMS-методом. Радиоуглеродный возраст этого образца составляет 11460 ± 45 лет (см. рис. 5, б, в; табл. 1).

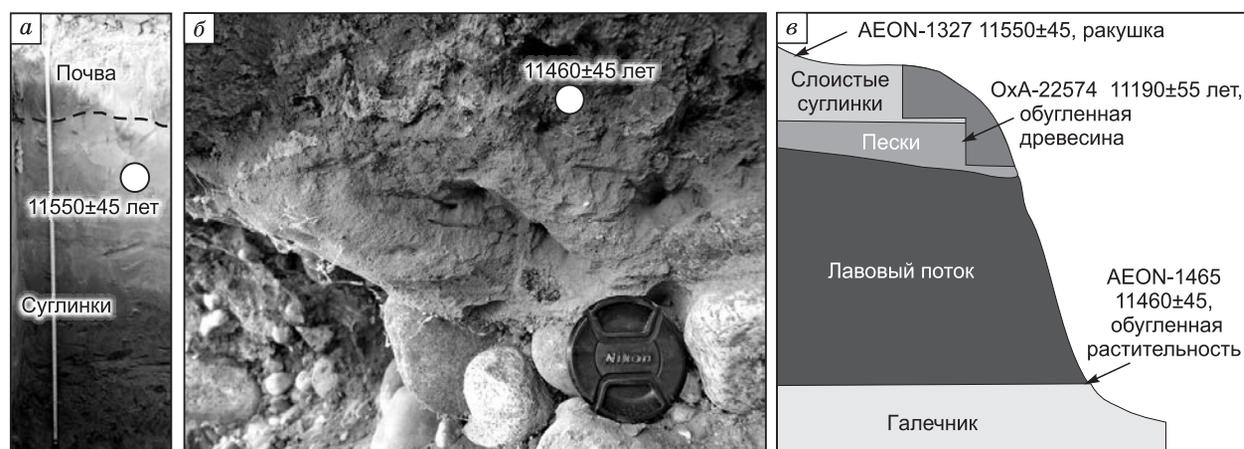


Рис. 5. Элементы разрезов 3 и 4 в долине р Ока.

а — разрез 3, заложенный с поверхности 25—30-метровой террасы р. Ока и радиоуглеродная AMS-дата ракушки, обнаруженной в суглинистых отложениях подпорного водоема; б — разрез 4, расположенный на контакте лавового потока и аллювиальных отложений р. Ока. Приводится радиоуглеродная AMS-дата обугленной растительности; в — схематичный сводный разрез и радиоуглеродные AMS-датировки, характеризующие время формирования лавовой дамбы в долине р. Ока.

Таким образом, новая AMS-датировка образца погребенного растения в отложениях влк. Аткинсона в пределах погрешности анализа согласуется с AMS-датировкой ракушек семейства улиток из осадков, перекрывающих лавовый поток в долине р. Ока. И те, и другие близки к AMS-датировкам обугленной растительности из подстилающих и перекрывающих лавы отложений. С одной стороны, это подтверждает выводы из работы [Ivanov et al., 2011] о том, что лавовые потоки в долине р. Ока одновозрастны с вулканами Аткинсона и Перетолчина. С другой стороны, это говорит об ошибочности (заметном омоложении) ранее полученной жидкостно-сцинтилляционным методом радиоуглеродной датировки погребенного растения в отложениях влк. Аткинсона [Ivanov et al., 2011].

Дендрохронологические исследования

Для определения возраста наиболее молодых фрагментов Жомболокского лавового поля, расположенных в приустьевой части одноименной реки, были проведены дендрохронологические исследования, которые заключались в отборе спилов и кернов погибших и живых деревьев и дальнейшем анализе древесно-кольцевых серий. Некоторые из образцов были подвергнуты радиоуглеродному датированию.

На поверхности молодых потоков, на «островах» старой лавы, расположенной среди молодых потоков, и на смежных территориях был взят 21 образец ели (рис. 6; табл. 2, 3). Для дендрохронологического анализа с сухих (погибших) деревьев отбирали круговые поперечные спилы или поперечные спилы сохранившегося сектора отмершего дерева. С живых деревьев отбирали буровые керны с помощью возрастного бурава на высоте 1.3 м.

Таблица 2. Реестр образцов древесины

Название образца	Период жизни, годы	Вид дерева, состояние	Координаты
Поле 1			
JMB 1-1	1402—1997	<i>Picea obovata</i> , сухостой	N52°44'28.42" — E99°40'43.15"
JMB 1-2	1497—1947	»	N52°44'24.47" — E99°40'59.18"
JMB 1-4	1114—1824	»	N52°44'19.52" — E99°41'31.03"
JMB 1-8	1503—2006	»	N52°44'24.01" — E99°41'15.03"
JMB 1-3	1575—2012	<i>Picea obovata</i> , живое	N52°44'30.91" — E99°40'58.37"
JMB 1-5	1495—2013	»	N52°44'17.17" — E99°41'17.08"
JMB 1-6	1548—2013	»	N52°44'33.61" — E99°40'36.08"
JMB 1-7	1569—2013	»	N52°44'34.73" — E99°40'47.75"
JMB 1-9	1693—2013	»	N52°44'24.34" — E99°40'50.74"
Поле 2			
JMB 2-1	1723—1974	<i>Picea obovata</i> , сухостой	N52°45'1.01" — E99°41'34.68"
JMB 2-2	1607—1824	»	N52°45'5.30" — E99°41'54.67"
JMB 2-3	1697—1983	»	N52°45'12.63" — E99°41'39.80"
JMB 2-4	1662—2009	»	N52°45'13.13" — E99°41'55.50"
JMB 2-5	1667—2003	»	N52°45'0.75" — E99°42'18.83"
JMB 2-6	1657—2013	<i>Picea obovata</i> , живое	N52°45'16.83" — E99°41'51.68"
JMB 2-7	1662—2012	»	N52°44'58.66" — E99°42'6.34"
Поле 3			
JMB 3-1	1881—2013	<i>Picea obovata</i> , живое	N52°44'51.15" — E99°40'10.76"
JMB 3-2	1861—2013	»	N52°44'52.08" — E99°39'46.19"
JMB 3-3	1728—2013	»	N52°44'37.19" — E99°39'27.51"
JMB-S-1	1566—2012	»	N52°44'30.84" — E99°39'9.00"
JMB-S-2	1598—2011	»	N52°44'31.62" — E99°39'7.38"

Таблица 3. Район отбора образцов древесины

Местоположение	Растительность	Координаты
Поле 1	Отдельно стоящие экземпляры елей, редко лиственницы, произрастающие на лишайниково-моховом покрове, присутствует барбарис	N52°44'28.7" — E99°40'50.2"
Поле 2	Отдельно стоящие экземпляры лиственницы и ели, произрастающие на лишайниково-моховом покрове	N52°45'06.2" — E99°42'04.7"
Поле 3	Отдельно стоящие экземпляры елей, произрастающие на лишайниково-моховом покрове	N52°44'30.8" — E99°39'08.6"



Рис. 6. Район отбора образцов живой и палеодревесины в приустьевой части р. Жомболок.

На подготовленных по стандартной методике спилах и кернях [Cook, Kairiukstis, 1990] производились измерения ширины годичных колец с помощью полуавтоматической компьютерной установки LINTAB II, с шагом в 10 мкм под стереомикроскопом LOMO (увел. 40) [Rinn, 1996].

По результатам измерений ширины годичных колец строились индивидуальные стандартизированные древесно-кольцевые хронологии (СДКХ). Оценка возрастного тренда проводилась для каждого индивидуального дерева, возрастная кривая аппроксимировалась негативной экспонентой, относительно которой рассчитывались индексы прироста.

Посредством сочетания кросс-корреляционного анализа [Holmes, 1998] и графической перекрестной датировки [Douglass, 1919] определялась относительная или абсолютная (календарная) даты, а также выявлялись ложные и выпавшие кольца. Кросс-корреляционный анализ реализован в специализированном пакете программ для дендрохронологических исследований DPL-1994 [Holmes, 1998], графическая перекрестная датировка — в программном пакете TSAP v3.5c с визуальным сопоставлением кривых изменчивости абсолютных значений радиального прироста и по статистическим параметрам (t -критерии > 5 при перекрытии не менее 50 лет) [Rinn, 1996].

Решение задачи исследования выполнялось последовательно. Первым этапом было получение индивидуальных СДКХ как для погибших, так и для живых деревьев (рис. 7). Все образцы были перекрестно датированы, что позволило определить выпадающие годичные кольца и установить абсолютные даты для СДКХ погибших деревьев, которые имели большие участки совпадения с СДКХ живых деревьев. В результате для всех исследованных деревьев мы получили абсолютно датированные СДКХ, в которых каждое годичное кольцо имело точно определенный календарный возраст (см. рис. 7; табл. 2). Из графика на рис. 8 видно, что все хронологии имеют достаточное временное перекрытие и могут стать надежной основой для создания локальной хронологии.

Полученные индивидуальные СДКХ были усреднены для всей совокупности деревьев района исследований, и мы получили обобщенную локальную древесно-кольцевую хронологию (ЛДКХ), характеризующую динамику ширины годичного кольца хвойных деревьев в районе исследований на протяжении последних девяти веков (рис. 9). Эта ЛДКХ была проверена на статистическую достоверность программами Arstan и COFENHA из программного пакета DPL-1994 [Holmes, 1983] (табл. 4). Межсерийный коэффициент корреляции ($R = 0.67$) говорит о хорошей согласованности прироста исследованных деревьев. Она характеризуется достаточной чувствительностью индивидуальных серий ($Mean_s = 0.57$), что свидетельствует о значительном влиянии на изменчивость прироста деревьев внешних факторов, в первую очередь, климатических. Древесно-кольцевая хронология считается чувствительной, если $Mean_s$ превышает 0.3 [Cook, Kairiukstis, 1990]. Доля объясненной дисперсии первой главной компонентой (температура воздуха) превышает 50 %.

В процессе отбора образцов древесины и изучения поверхности молодых полей лав были обнаружены фрагменты стволов деревьев, погребенных в базальтовых обломках (рис. 10). На протяжении 20 м под лавовыми корками на глубине 60—70 см от поверхности залежали девять фрагментов погибших деревьев хорошей сохранности. Фрагменты погребенной древесины длиной от 10—15 до 60 см имеют следы температурного воздействия в виде слабого обугливания или потемнения с нижней стороны (относительно их погребенного состояния). Местонахождение представляет собой краевую часть молодого потока, выраженную в виде вала, налегающего на

Таблица 4. Статистические показатели локальной древесно-кольцевой хронологии

Период, годы	Локальная хронология									
	Mean _s	SNR	σ, %	AC		R	Доли дисперсии, объясненные главными компонентами, %			ΣPC ₁₋₃ , %
				OR ₁	OR ₂		PC ₁	PC ₂	PC ₃	
1114—2013	0.57	3.4	0.29	0.45	0.21	0.67	53	24	5	82

Примечание. Mean_s — средняя чувствительность, SNR — отношение сигнал—шум, σ — среднее квадратичное отклонение, AC — автокорреляция (OR_{1,2} — первого и второго порядка), R — межсерийный коэффициент корреляции, PC — главная компонента, ΣPC₁₋₃ — сумма трех главных компонент.

лавы ранних генераций (см. рис. 10, а, б). Для краевых частей лавовых потоков характерны деформации поверхности в виде линейных или валообразных вздутий, а также хаотичных нагромождений. В данном случае на поверхности потока выделяется вал высотой до 1 м и протяженностью 100 м, сложенный лавовыми обломками размерами до 50—70 см. Внешне это выглядит невысокой узкой взломанной зоной,

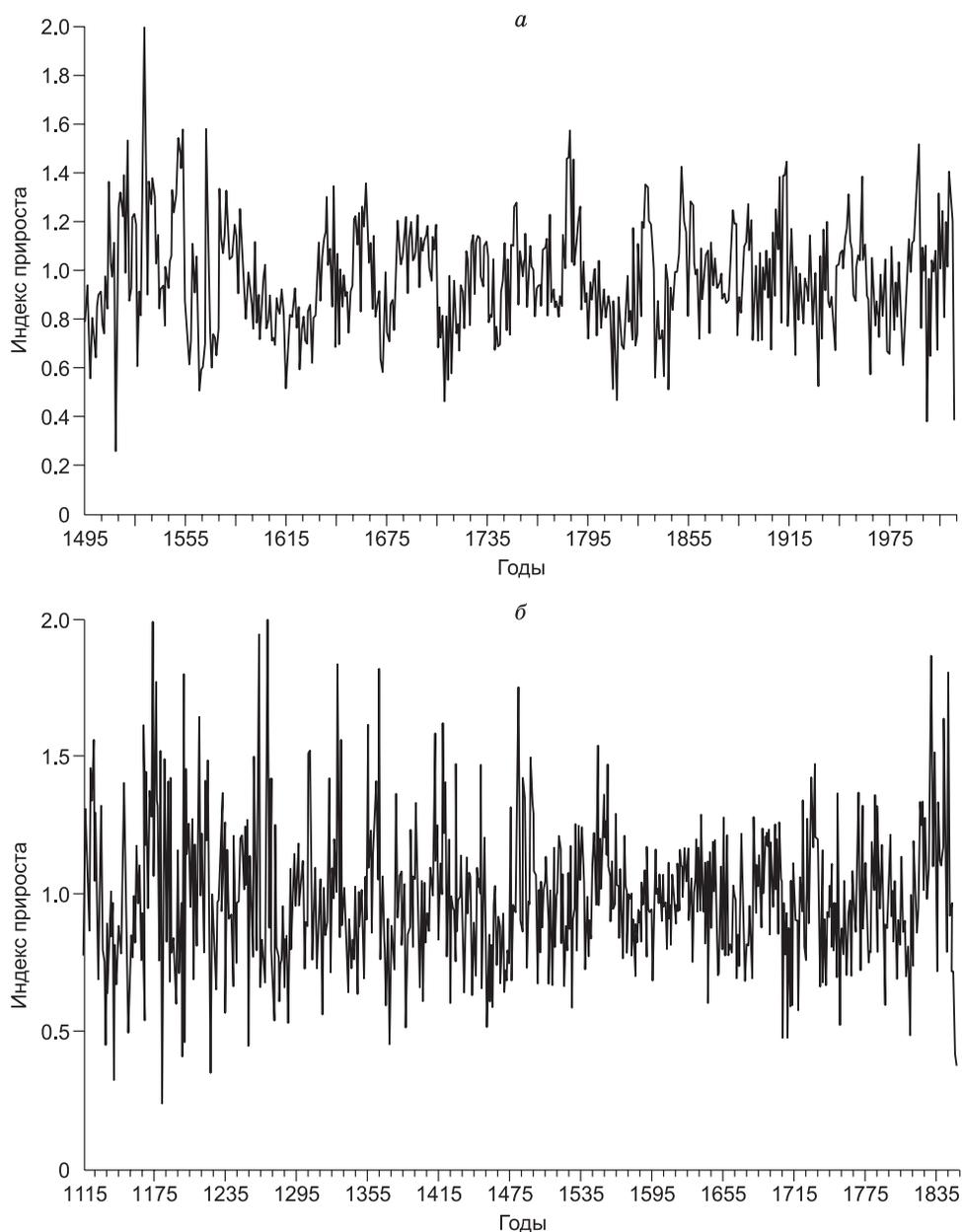


Рис. 7. Обобщенная древесно-кольцевая хронология живых (а) и погибших (б) деревьев ели района исследований.

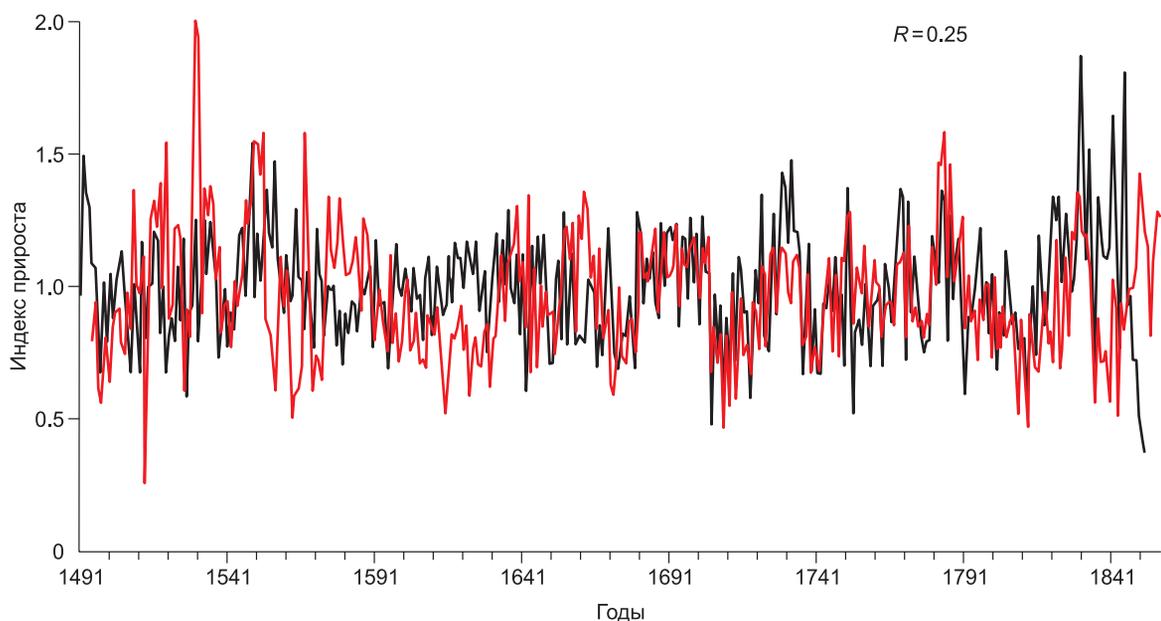


Рис. 8. Участок перекрытия обобщенных хронологий при датировке «плавающей» ОДКХ погибших деревьев по абсолютно датированной ОДКХ живых деревьев составил 357 годичных колец (1495—1852 гг.).

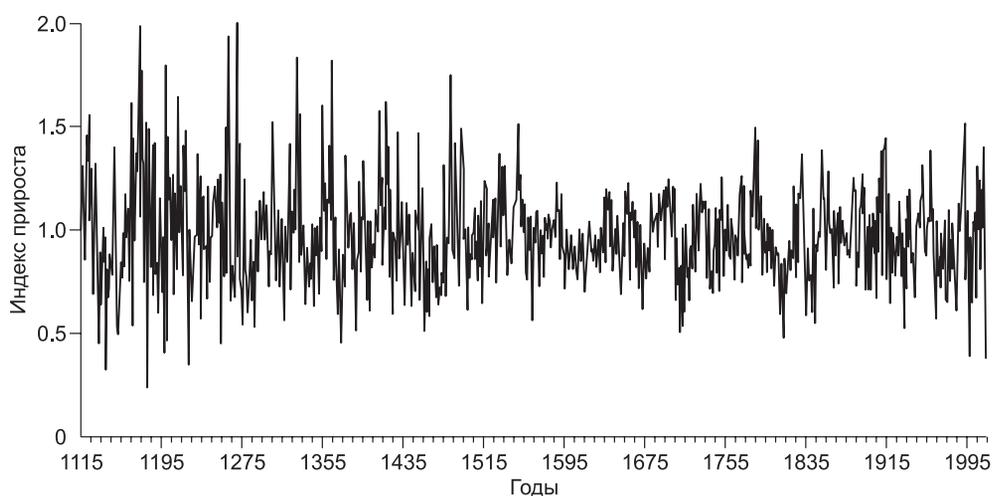


Рис. 9. Обобщенная локальная древесно-кольцевая хронология ели района исследований протяженностью 900 лет.

где отдельные плиты стоят вертикально или наклонно (см. рис. 10, б). По аналогии можно привести пример торошения льда на границе двух ледовых полей.

Среди обнаруженной палеодревесины нами выделены близкорасположенные друг к другу образцы JMB 13-5, JMB 13-6, JMB 13-7 (рис. 11, а), которые могли принадлежать одному стволу дерева. Проведенное сравнение древесно-кольцевых серий этих фрагментов подтвердило данное предположение (см. рис. 11, б).

Для определения возраста погребенной древесины были датированы радиоуглеродным методом внешние кольца образцов JMB 13-6, JMB 13-7, JMB 13-9 (см. рис. 11, а; табл. 1). В данном случае жидкостно-сцинтилляционный и AMS-методы показывают согласованные результаты.

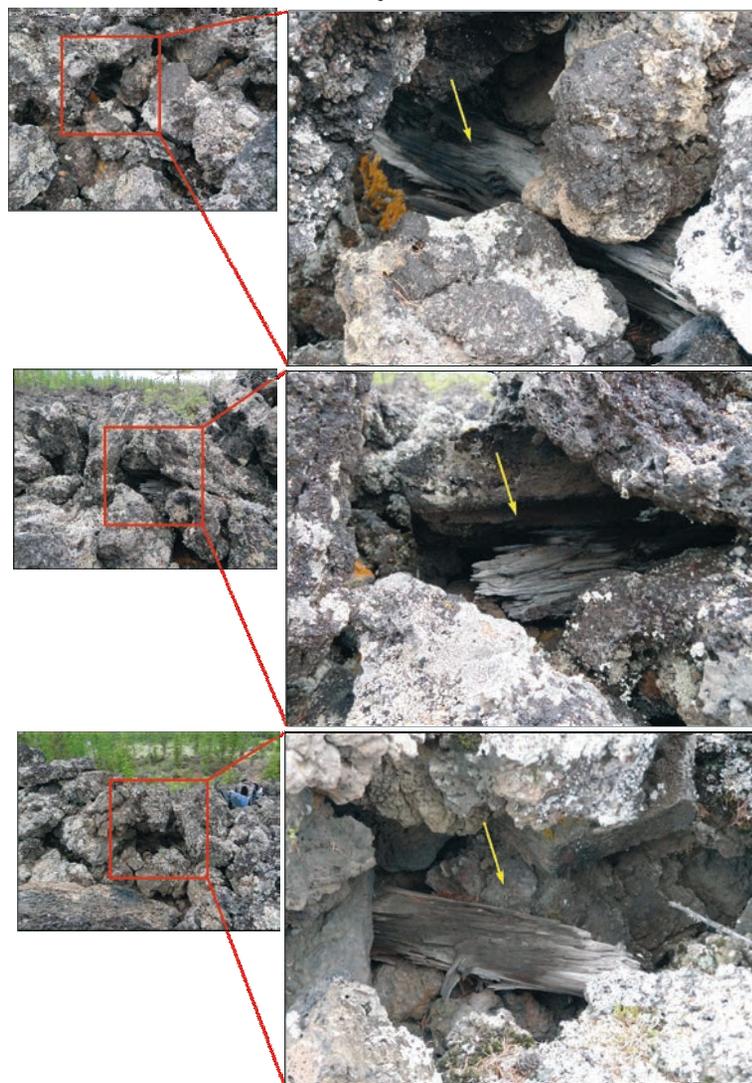
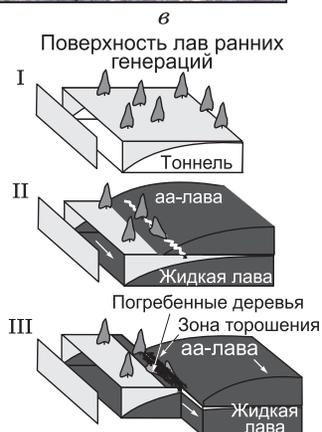
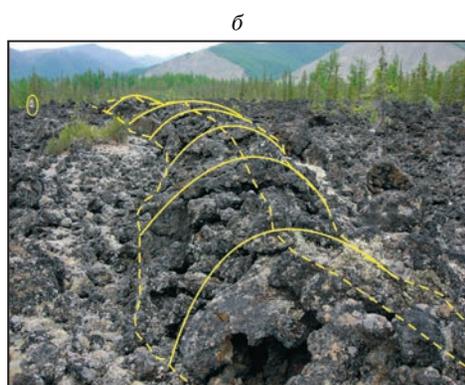


Рис. 10. Местонахождение погребенных фрагментов деревьев.

a — фрагмент космоснимка (Google Earth), на котором отображена часть молодого потока с областью торшения и район обнаружения погребенной древесины; *б* — полевая фотография, показывающая область торшения верхней части потока, где были найдены фрагменты стволов деревьев; *в* — модель образования области торшения поверхности лавового потока с погребением стволов деревьев: I — поверхность лав и тоннель, сформированные ранее, II — стадия наполнения тоннеля молодыми лавами и ее выход на поверхность старого потока в виде аа-лавы, III — стадия вовлечения в движение части старого потока с формированием области торшения и погребения стволов деревьев лавовыми корками; *г* — полевые фотографии фрагментов древесины, погребенной лавовыми корками.

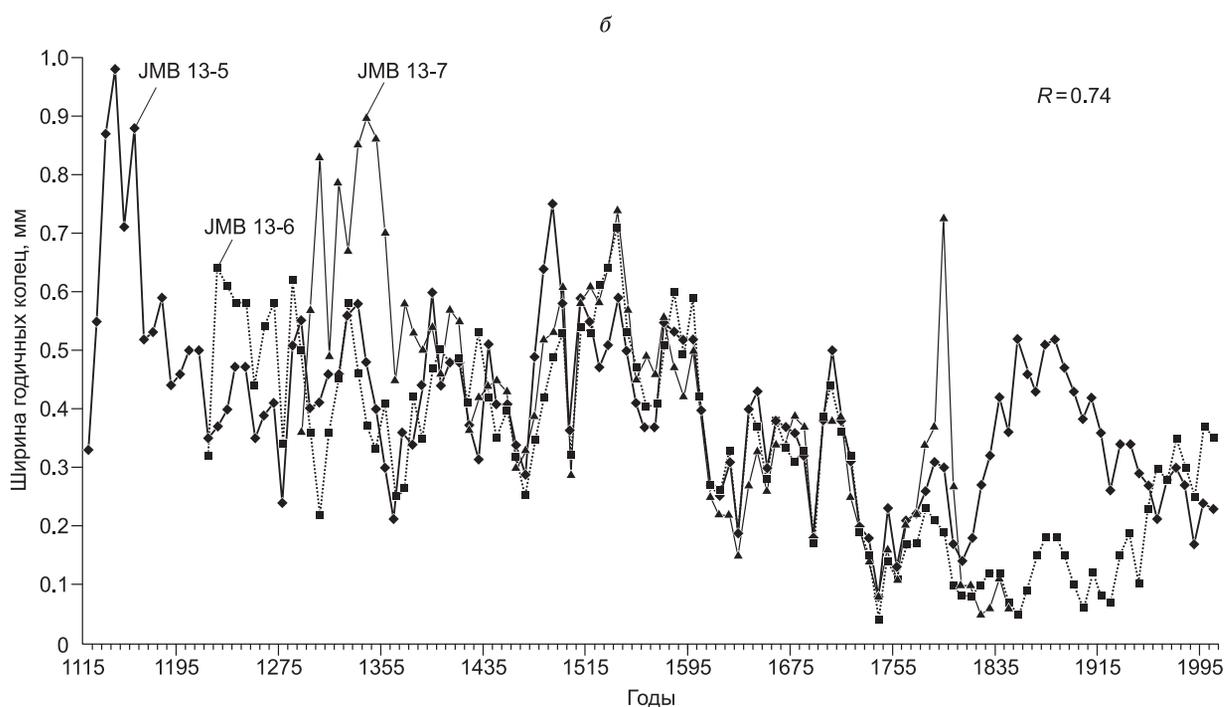
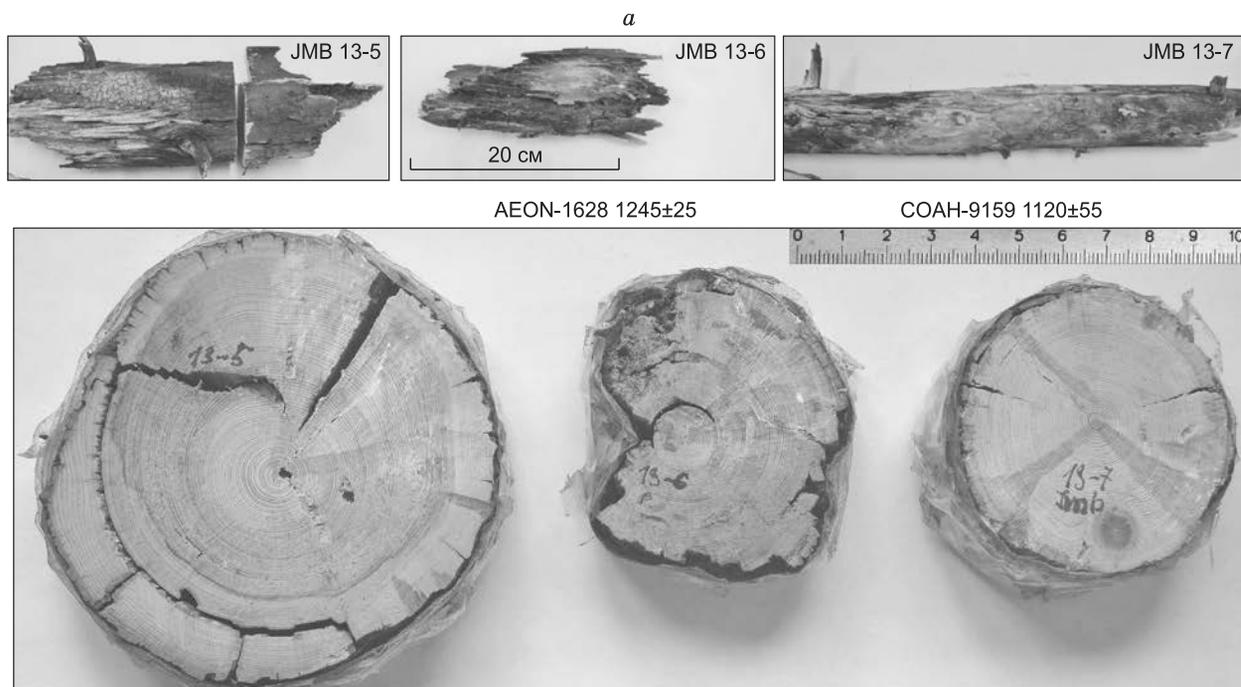


Рис. 11. Фотографии трех фрагментов палеодревесины, их спилов и две радиоуглеродные даты (а). Индивидуальные древесно-кольцевые хронологии, свидетельствующие об их принадлежности одному стволу погибшего дерева (б).

ДИСКУССИЯ

Как отмечали многие исследователи, вспышка вулканизма, приведшая к формированию Жомбо-локского лавового поля, произошла после стаивания одноименного ледника и принималась как голоценовая. Однако по вопросу о возрасте последних крупных ледников в долинах рек Восточного Саяна не было единого мнения. Некоторые исследователи считали, что после каргинского потепления (MIS 3) оледенение Восточного Саяна носило каровый характер без формирования долинных ледников [Nem-

chinov et al., 1999]. Другие на основе бериллиевого датирования экспонированных поверхностей ледниковых валунов [Gillespie et al., 2008; Arzhannikov et al., 2012; Аржанников и др., 2015] сделали вывод о том, что в сартанскую фазу позднеплейстоценового оледенения (MIS 2) в речных долинах юга Восточного Саяна и в горах Северной Монголии лежали ледники мощностью несколько сотен метров. Время начала деградации ледников в районе исследований определяется наиболее молодой серией бериллиевых дат [Arzhannikov et al., 2012] и приходится на время 16 тыс. л. н.

Полученные радиоуглеродные датировки для долины Хи-Гол и долины р. Ока могут характеризовать начало вулканизма в районе исследований по двум сценариям.

Сценарий первый (I). Вулканы Трещинный и Старый морфологически выглядят древнее, чем все остальные вулканы в долине Хи-Гол [Адамович и др., 1959; Ярмолюк и др., 2003; Ivanov et al., 2011] и, соответственно, отвечают за формирование потока лав ранней генерации, заполнивших долины. Время начала вулканизма вытекает из возраста подстилающей лавы поверхности 13214—13406 л. н. (разрез 4, см. рис. 5, б, в) и возраста осадков, залегающих на лавовой дамбе, определенного по ракушке 13291—13468 л. н. (разрез 3, см. рис. 5, а, в) и углю 12904—13167 л. н. (разрез 2, см. рис. 4, з). Вулканы второй группы (Перетолчина, Аткинсона, Останец) формировались позднее. Возраст этой фазы извержения определяется радиоуглеродной датой 13303—13465 л. н. (разрез 1, см. рис. 3) фрагмента растительности, обнаруженного в межпепловых горизонтах влк. Аткинсона. Таким образом, мы делаем вывод о близкой во времени активизации двух центров извержений, произошедшей в период 12904—13468 л. н. (рис. 12, а, б, ж).

Сценарий второй (II). В первую фазу вулканизма были активны вулканы Трещинный и Старый, однако неизвестно, могли ли лавы этой фазы достичь долины рек Жомболок и Ока (см. рис. 12, д). В разрезе 4 мы обнаружили датированный материал и определили возраст подстилающей поверхности, на которую легли лавы и вызвали подпор р. Ока. Возраст этой поверхности составляет 13214—13406 л. н., а возраст растительности из межпепловых горизонтов влк. Аткинсона определен как 13303—13465 л. н. Как мы видим, эти даты практически совпадают, что может свидетельствовать об излиянии лав в долине Хи-Гол и натекании лав на пойму или старицу в долине р. Ока в одно и то же время. Такой вывод был сделан ранее, исходя из геологических данных [Ivanov et al., 2011], т. е. извержение второй группы вулканов (Перетолчин, Аткинсон и Останец) привело к крупному излиянию лав, которые заполнили долину Хи-Гол, вышли в долину р. Жомболок и достигли долины р. Ока, залив ее русло. Образованная лавовая дамба привела к формированию подпорого озера, возраст осадков которого составляет по ракушке 13291—13468 л. н. (разрез 3) и углю 12904—13167 л. н. (разрез 2). Таким образом, часть вулканов первой группы (Трещинный и Старый), при условии их относительной древности по сравнению с другими вулканами, могли формироваться раньше — в период 16—14 тыс. л. н. (см. рис. 12, д). Вулканы Перетолчина, Аткинсона и Останец были активны в период 12904—13468 л. н. (см. рис. 12, е).

В третью фазу вулканизма были активны влк. Кропоткина и центр излияния, расположенный к востоку от него. Лавы этого этапа распространились до влк. Перетолчина и повернули в долину р. Кадыр-Ос. Данных о возрасте активизации этих центров мы не имеем (см. рис. 12, в).

Четвертый этап активизации вулканизма фиксируется в верховьях пади Хи-Гол и в приустьевой части р. Жомболок. Отличительной чертой поверхности молодых потоков от вулканитов ранних генераций является почти полное отсутствие растительного покрова, более темный цвет и присутствие отчетливо читаемой крупной ряби течения (рис. 13, а).

Наиболее ярко они выражены в приустьевой части р. Жомболок, где количество выходов молодых потоков достигает нескольких десятков. Их поверхность характеризуется как аа-лава, представленная скоплением корок, взломанных фрагментов верхней части тоннелей, по которым происходило растекание лавы. Размеры блоков варьируют от первых десятков сантиметров до первых метров (см. рис. 13, б, в). На поверхности молодых потоков имеются «острова» старой лавы с фрагментами погибшей древесины, а иногда и живых деревьев (см. рис. 13, з). Максимальные размеры «островов» достигают 10—12 м в поперечнике, в основном же это площадки 1—2 м². В краевых частях потоков отмечаются крупные линейные вздутия длиной несколько десятков метров.

Предположительно (исходя из морфологии потоков и данных радиоуглеродного датирования), наиболее молодые базальтовые поля в верховьях долины Хи-Гол [Вулканизм..., 1979] и в устьевой части Жомболока формировались в одно время и имели центр излияния в районе вулканов Кропоткина и Пограничного (см. рис. 12, з, ж). Существование других центров извержения, расположенных как в долине р. Жомболок, так и в ее приустьевой части, не нашло своего подтверждения в процессе многочисленных исследований, проводившихся при изучении Жомболокского лавового поля [Обручев, Лурье, 1959; Адамович и др., 1959; Вулканизм... 1979; Ярмолюк и др., 2003; Ivanov et al., 2011].

Обращает на себя внимание расстояние в 65 км от верховьев долины Хи-Гол до устья р. Жомболок, пройденное лавами последнего этапа активизации. Предложенная ранее модель формирования Жомболокской лавовой реки протяженностью 75 км [Ярмолюк и др., 2003] могла сработать и при более

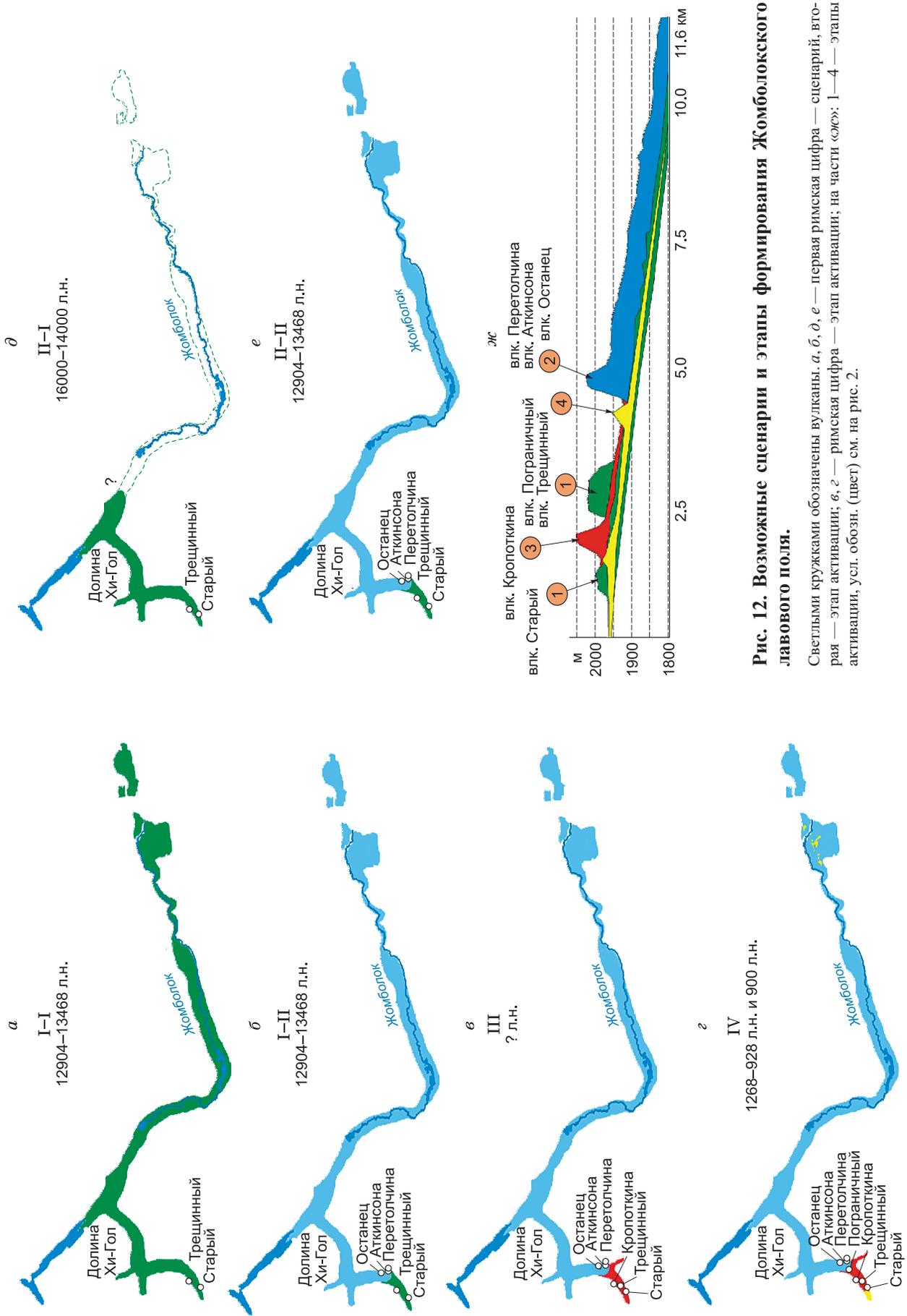


Рис. 12. Возможные сценарии и этапы формирования Жомболковского ЛАВОВОГО ПОЛЯ.

Светлыми кружками обозначены вулканы. а, б, д, е — первая римская цифра — сценарий, вторая — этап активации; в, г — римская цифра — этап активации; на части «ж»: 1—4 — этапы активации, усл. обозн. (цвет) см. на рис. 2.

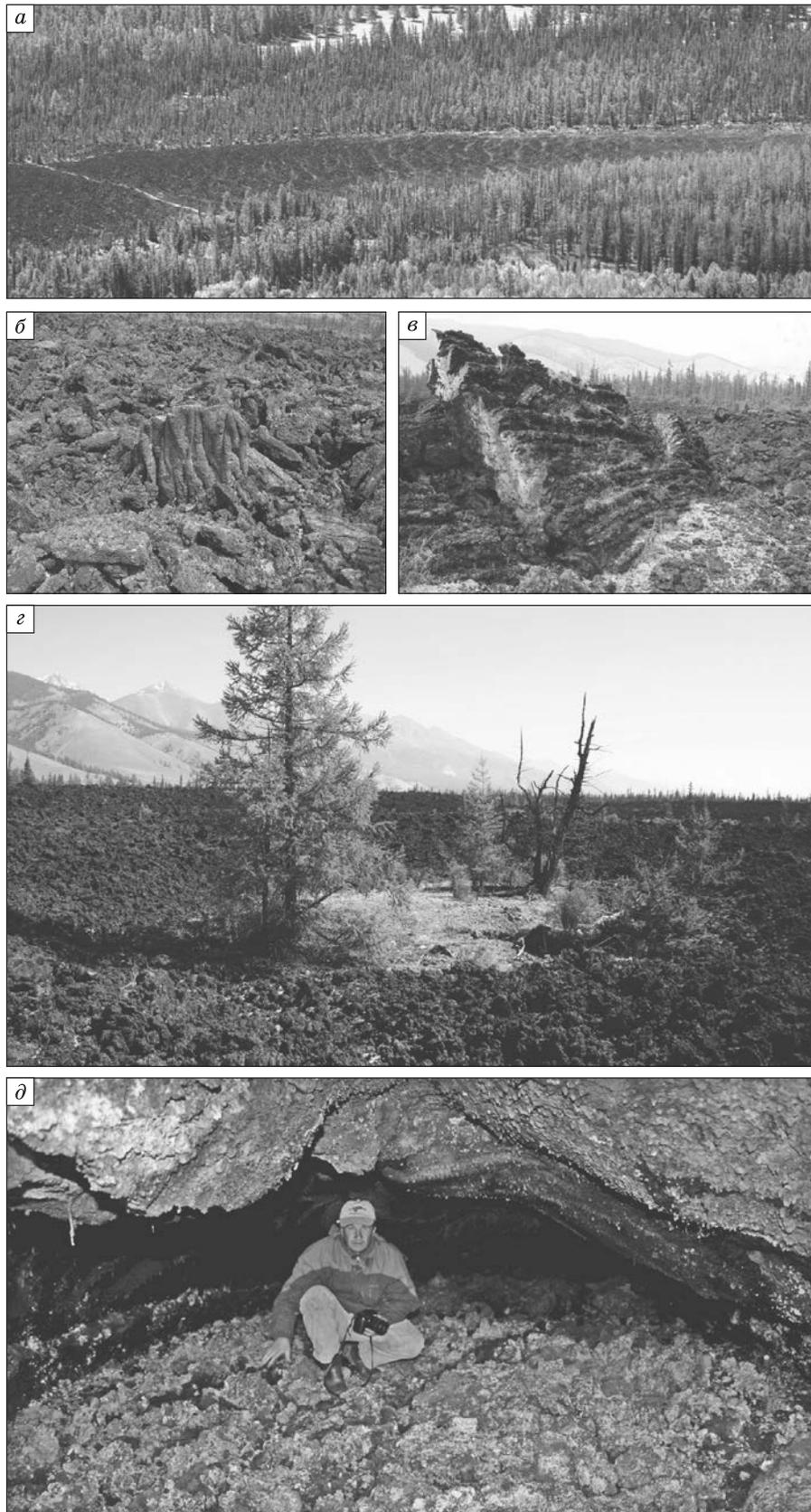


Рис. 13. Морфология молодых и старых потоков.

a — волнистая поверхность молодых лав, расположенных в поле лав ранних генераций; *б, в* — характер поверхности молодых лав со взломанными корками; *г* — «остров» старой лавы с древесной растительностью среди молодых базальтовых потоков; *д* — фрагмент тоннеля, по которому происходило течение лав.

поздних извержениях. Таким образом, перемещение лав в нижние части долин происходило по тоннелям (рис. 13, д), которые образовались в предыдущие стадии извержений [Ярмолюк и др., 2003]. Выход молодых лав на дневную поверхность произошел в результате уменьшения мощности первичного потока и нарушения тоннелей в поле старых лав. До нашего исследования был известен только один факт использования старых лавовых тоннелей пирокластическими потоками [Chen et al., 2015]. Наше исследование позволяет предполагать, что использование старых лавовых тоннелей поздними лавами является более частым явлением, чем было принято считать ранее.

Детальное изучение поверхности лавовых потоков и их приповерхностных частей позволило обнаружить и частично датировать уникальный, на наш взгляд, материал погребенной древесины для определения возраста лавовых потоков. Были датированы внешние кольца трех образцов, два из которых принадлежат одному стволу дерева JMB 13-6 (1245 ± 25 лет) и JMB 13-7 (1120 ± 55 лет). Как мы видим, они имеют очень близкий, но не одинаковый возраст. По-видимому, это связано с тем, что образцы были подвергнуты датированию в разных лабораториях и разными методами (см. табл. 1). Третий образец JMB 13-9 имеет также близкий радиоуглеродный возраст 1095 ± 40 лет. Не отдавая предпочтение тому или иному калиброванному возрасту, мы констатируем, что гибель деревьев могла произойти в период 1268—928 л. н. Произошла ли гибель дерева от деформации поверхности потока старой лавы в результате новой вспышки извержения или до нее, мы однозначно сказать не можем. Однако то, что излияние лав произошло не ранее этого времени, мы можем говорить уверенно, т. е. мы определили нижнюю хронологическую границу формирования молодых лав. Для определения верхней возрастной границы был привлечен дендрохронологический анализ 21 образца живой и палеодревесины, отобранных на поверхности молодых потоков и на приграничных территориях. В среднем древесно-кольцевые хронологии насчитывают 400—500 лет, что является достаточным материалом для построения плавающих и абсолютных хронологий. Уникальным является фрагмент ствола дерева (JMB 1-4), насчитывающий 710 лет, обнаруженный на поверхности молодой лавы.

Анализ индивидуальных древесно-кольцевых хронологий за период второй половины второго тысячелетия нашей эры позволил построить обобщенную древесно-кольцевую хронологию для этого периода и дал возможность привязать к ней плавающую хронологию обр. JMB 1-4 протяженностью 710 лет. В результате была получена обобщенная локальная древесно-кольцевая хронология (ЛДКХ) за период 900 лет, т. е. календарный год 1114 н.э. (или 900 л. н.) является годом начала роста дерева, с которого был отобран обр. JMB 1-4. Таким образом, возраст этого дерева дает верхнюю хронологическую границу вулканической активизации в районе исследований.

Полученный временной диапазон между гибелью деревьев 1268—928 л. н. и началом роста нового поколения елей на излившихся лавах 900 л. н. (см. рис. 12, з) является временем активизации четвертой вулканической фазы, отраженной в появлении лав в приустьевой части долины р. Жомболок. Что касается фрагментов молодых вулканических полей в долине Хи-Гол (см. рис. 12, ж), морфологически схожих с приустьевыми Жомболокскими, то мы не имеем какой-либо информации по их возрасту, и оставляем этот вопрос за рамками нашей дискуссии. Тем не менее наиболее вероятным предположением остается то, что молодые лавы, расположенные как в долине Хи-Гол, так и в устьевой части р. Жомболок, являются следствием извержений вулканов долины Хи-Гол.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования в долинах рек Хи-Гол, Жомболок и Ока открыли новую страницу в изучении молодого вулканизма севера Центральной Азии, проявившегося в конце позднего плейстоцена и в голоцене. Датирование углеродсодержащих материалов из шлаков влк. Аткинсона, подбазальтовых углей и малакофауны из осадков подпорного водоема показало, что начало формирования Жомболокского лавового поля произошло немногим более 13 тыс. л. н. Морфологически выделяется, по меньшей мере, четыре этапа активизации вулканизма. Первым из серии извержений было формирование вулканов Трещинный и Старый. Затем, с небольшим промежутком по времени (сотни или десятки лет), произошло извержение вулканов Перетолчина, Аткинсона и Останец. На третьем этапе образовался влк. Кропоткина, лавы которого изливались в меньших объемах и имеют распространение в верховьях пади Хи-Гол и р. Кадыр-Ос. На основе радиоуглеродного датирования и дендрохронологического анализа фрагментов стволов деревьев определено время четвертой фазы активизации, произошедшей во временном диапазоне между периодом гибели погребенных лавами деревьев 1268—928 л. н. и временем начала роста нового поколения деревьев на поверхности молодых лав 900 л. н.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (гранты 13-05-00361; 16-05-00183).

ЛИТЕРАТУРА

Адамович А.Ф., Гросвальд М.Г., Зоненшайн Л.П. Новые данные о вулканах Кропоткина и Перетолчина // Материалы по региональной геологии, 1959, вып. 5, с. 79—90.

Аржанников С.Г., Иванов А.В., Аржанникова А.В., Демонтерова Е.И., Буянтуев В.А., Осколков В.А., Воронин В.И. Постледниковая активизация вулканизма в Восточном Саяне // Материалы IX Всероссийского совещания по изучению четвертичного периода (г. Иркутск, 15—20 сентября 2015 г.). Иркутск, Изд-во Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2015, с. 25—27.

Аржанникова А.В., Жоливе М., Аржанников С.Г., Вассалло Р., Шове А. Возраст формирования и деструкции мезозойско-кайнозойской поверхности выравнивания в Восточном Саяне // Геология и геофизика, 2013, т. 54 (7), с. 894—905.

Буслов М.М., Кох Д.А., де Граве И. Мезозойско-кайнозойская тектоника и геодинамика Алтая, Тянь-Шаня и Северного Казахстана по результатам трекового датирования апатитов // Геология и геофизика, 2008, т. 49 (9), с. 862—870.

Гросвальд М.Г. Развитие рельефа Саяно-Тувинского нагорья. М., Наука, 1965, 167 с.

Вулканизм Байкальской рифтовой зоны и проблемы глубинного магмообразования / Ред. Н.А. Логачев. Новосибирск, Наука, 1979, 197 с.

Кропоткин П.А. Поездка в Окинский караул // Зап.-Сиб. отд. Регион. географ. об-ва, 1867, т. IX—X.

Медведев М.Е. Поверхности выравнивания рельефа восточной части Восточного Саяна // Поверхности выравнивания. (Материалы к IX пленуму Геоморф. комиссии АН СССР). Иркутск, Институт географии Сибири и Дальнего Востока АН СССР, 1970, вып. 3, с. 105—107.

Обручев С.В. Таинственные истории. М., Мысль, 1973, 57 с.

Обручев С.В., Лурье М.Л. Вулканы Кропоткина и Перетолчина в Восточном Саяне // Труды лаборатории вулканологии, вып. 8. М., Изд-во АН СССР, 1954, с. 210—225.

Рассказов С.В., Кунк М. Дж., Лур Дж.Ф., Бауринг С.А., Брандт И.С., Брандт С.Б., Иванов А.В. Эпизоды извержений и вариации состава четвертичных лав Байкальской рифтовой системы (Ar-Ag и K-Ag датирование вулканизма бассейна р. Джиды) // Геология и геофизика, 1996, 37 (6), с. 3—15.

Ярмолюк В.В., Никифоров А.В., Иванов В.Г. Строение, состав, источники и механизм долинных излияний лавовых потоков Жом-Болок (голоцен, Южно-Байкальская вулканическая область) // Вулканология и сейсмология, 2003, № 5, с. 41—59.

Arzhannikov S.G., Braucher R., Jolivet M., Arzhannikova A.V., Vassallo R., Chauvet A., Bourles D., Chauvet F. History of late Pleistocene glaciations in the central Sayan-Tuva Upland (southern Siberia) // Quat. Sci. Rev., 2012, v. 49, p. 16—32, doi: 10.1016/j.quascirev.2012.06.005.

Arzhannikova A., Arzhannikov S., Jolivet M., Vassallo R., Chauvet A. Pliocene to Quaternary deformation in South East Sayan (Siberia): Initiation of the Tertiary compressive phase in the southern termination of the Baikal Rift System // J. Asian Earth Sci., 2011, v. 40, p. 581—594, doi:10.1016/j.jseas.2010.10.11.

Chen Z., Haiquan Wei, Yongshun Liu, Robert I. Tilling, Jiandong Xu, Chengzhi Wu, Baofeng Nie. A historical pyroclastic flow emplaced within a pre-existing Pleistocene lava tube: Silidong, Tianchi Volcano, Changbaishan, northeastern China // Bull. Volcanol., 2015, v. 77 (6), p. 48, doi: 10.1007/s00445-015-0933-z.

Cook E.R., Kairiukstis L.A. Methods of dendrochronology. Application in the environmental sciences. Kluwer Academy Publishers, Dordrecht-Boston-London, 1990, 394 p.

De Grave J., Dehandschutter B., Van den Haute P., Buslov M.M., Boven A. Low-temperature thermotectonic evolution of the Altai-Sayan mountains, South Siberia, Russia // Geophys. Res. Abst., 2003, v. 5, p. 11996.

De Grave J., Buslov M.M., Van den Haute P. Distant effects of India-Eurasia convergence and Mesozoic intracontinental deformation in Central Asia: Constraints from apatite fission-track thermochronology // J. Asian Earth Sci., 2007, v. 29, p. 188—204.

De Grave J., Glorie S., Zhimulev F.I., Buslov M.M., Elburg M., Van den Haute P. Emplacement and exhumation of the Kuznetsk-Alatau basement (Siberia): implications for the tectonic evolution of the Central Asian Orogenic Belt and sediment supply to the Kuznetsk, Minusa and West Siberian Basins // Terra Nova, 2011, v. 23, № 4, p. 248—256.

Douglass A.E. Climatic cycles and tree growth: A study of the annual rings of trees in relation to climate and solar activity. Washington, 1919, DC, Carnegie Institute Publication 289.

Gillespie A.R., Burke R.M., Komatsu G. & Bayasgalan A. Late Pleistocene glaciers in Darhad Basin, northern Mongolia // Quat. Res., v. 69, p. 169—187.

Jolivet M., Ritz J-F., Vassallo R., Larroque C., Braucher R., Todbileg M., Chauvet A., Sue C., Arnaud N., De Vicente R., Arzhanikova A., Arzhanikov S. The Mongolian summits: An uplifted, flat, old but still preserved erosion surface // Geology, 2007, v. 35, doi: 10.1130/G23758A.1.

Jolivet M., Arzhannikov S., Arzhannikova A., Chauvet A., Vassallo R., Braucher R. Geomorphic Mesozoic and Cenozoic evolution in the Oka-Jombolok region (East Sayan ranges, Siberia) // *J. Asian Earth Sci.*, 2013. v. 62, Special Issue SI, p. 117—133, doi: 10.1016/j.jseae.2011.09.017.

Holmes R.L. Dendrochronology program library — user manual. Laboratory of Tree-Ring Research, University of Arizona, Tucson, Arizona, USA, 1998, 130 p.

Ivanov A.V., Arzhannikov S.G., Demonterova E.I., Arzhannikova A.V., Orlova L.A. Jom-Bolok Holocene volcanic field in the East Sayan Mts., Siberia, Russia: structure, style of eruptions, magma compositions, and radiocarbon dating // *Bull. Volcanol.*, 2011, v. 73, p. 1279—1294, doi: 10.1007/s00445-011-0485-9.

Nemchinov V.G., Budaev R.T., Rezanov I.N. Pleistocene glaciations of the eastern Sayan Mountains // *Antropozoikum*, 1999, v. 23, p. 11—15.

Stuiver M., Reimer P.J. Extended ¹⁴C database and revised CALIB radiocarbon calibration program // *Radiocarbon*, 1993, v. 35, p. 215—230.

Rinn F. TSAP version 3.5. Reference manual. Computer program for tree-ring analysis and presentation. Heidelberg, 1996, 264 p.

*Рекомендована к печати 6 июля 2016 г.
И.С. Новиковым*

*Поступила в редакцию 14 мая 2015 г.,
после доработки — 10 марта 2016 г.*