

УДК 551.32:581.526

НАЧАЛО ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЛЕСНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ ПОСЛЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПИРОКЛАСТИЧЕСКОЙ ВОЛНЫ ВУЛКАНА ШИВЕЛУЧ (КАМЧАТКА) 27 ФЕВРАЛЯ 2005 г.

© 2017 С.Ю. Гришин, П.А. Перепелкина, М.Л. Бурдуковский, А.Н. Яковлева

ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН, Владивосток, 690022; e-mail: grishin@biosoil.ru

В еловом лесу, погибшем после прохождения мощной пирокластической волны, на отложениях волны началось поселение ивы удской, которая за десятилетие сформировала древесный полог высотой 6–8 м. Выявлены факторы, способствовавшие столь быстрому заселению; главными из них являются: благоприятный режим влажности корнеобитаемой зоны, созданной отложениями волны, отчасти питательные вещества погребенной почвы, а также определенная защитная роль погибшего древостоя. Обсуждаются перспективы дальнейшей сукцессии; сделан вывод, что в течение ~50 лет ива в основном выпадет, к концу столетия ель сможет частично восстановить свои позиции, но древостой будет смешанным.

Ключевые слова: пирокластическая волна, сукцессия, эдафические факторы, ива удская, Шивелуч.

ВВЕДЕНИЕ

В результате сильного извержения 27 февраля 2005 г. по долине р. Байдарной (юго-западный склон вулкана Шивелуч) сошел крупный пирокластический поток. Вулканологи оценили длину февральского потока 2005 г. величиной 25 км, площадь отложений — 31,5 км², среднюю мощность — 15 м, объем — 0,5 км³ (Гирина и др., 2006). Раскаленные отложения потока перекрыли и уничтожили растительный покров на большой территории. Обширная территория краевой полосы шириной до 200–250 м, примыкающей к зоне погребения, стала зоной гибели экосистем в результате воздействия пирокластических волн. Пирокластические волны являются низкоплотным высокотемпературным турбулентным потоком из смеси вулканических газов, воздуха и тонкой пирокластики, движущимся с высокой скоростью. Эти волны возникают при сходе пирокластических потоков. Почти независимо от рельефа, волны проносятся с огромной скоростью по склонам, разрушая и опаливая все на своем пути. Главные последствия воздействия пирокластических волн для экосистем — гибель всего живого в зоне поражения. Пирокластическая волна вызывает повреждения в результате динамического давления на объект, высокой температуры, абразивного воздействия частиц.

Динамическое давление прямо пропорционально произведению плотности волны на квадрат скорости волны. При величине давления 4–10 кПа большинство деревьев вываливается (Вахтер et al., 2005). В ходе извержений обычно происходят механическое и термическое повреждение растений, химическое отравление, запыление ассимиляционного аппарата. Важно, что по растительности (особенно древесной) можно индцировать прохождение волны и, в определенной мере, ее основные параметры.

В течение ряда лет нами изучалась специфика воздействия извержения 2005 г. на экосистемы, а также реакция основных компонентов экосистем на воздействие (на примере растительного и почвенного покровов) и начало восстановления растительности после полного уничтожения. Некоторые результаты наблюдений за природными изменениями, проведенными в первые годы после извержения, были опубликованы ранее (Гришин, 2008, 2009, 2012).

Наиболее заметные изменения произошли за последние годы. Мертвый лес, погибший от воздействия пирокластической волны, с нижними ярусами растений, полностью погребенными толщей серо-коричневатых отложений, каким мы его увидели летом 2005 г., десятилетие спустя сильно преобразился. Поредевшие стволы вываливающегося сухостоя ели стала okayмлять

сплошная зеленая полоса плотных зарослей из молодняка ивы удской *Salix udensis* (рис. 1). Выявлено, что заросли ивы быстро увеличиваются в размерах, смыкаются и расширяют свои пределы. Эту зеленую полосу в последние годы стало хорошо видно и на спутниковых снимках (рис. 2). Столь бурный прогресс растительного покрова на ювенильных вулканических отложениях — редкое явление. В данном сообщении кратко представлены первые результаты нашего исследования. Основная задача — выявление факторов, способствующих быстрой сукцессии на первично безжизненном субстрате.

ПРИРОДНЫЕ УСЛОВИЯ

Шивелуч (высота — 3283 м) — самый северный, один из крупнейших и наиболее активных вулканов Камчатки. Он включает три основных структуры: вулкан Старый Шивелуч, древнюю кальдеру и активный вулкан Молодой Шивелуч (Мелекесцев и др., 1991). В результате гигантского извержения 1964 г. южный макросклон Шивелуча был перекрыт обвално-взрывными отложениями и материалом пирокластических потоков на площади ~100 км² (Горшков, Дубик, 1969). После этой катастрофы произошел ряд извержений уме-

ренной интенсивности (1980, 1993, 2001, 2004 г. и др.). Вследствие сложной структуры рельефа вулкана, выброс основной части вулканитов, в основном материалов раскаленных пирокластических потоков и лахаров (вулканогенных селей), ориентирован в направлении южных склонов. Значительная часть вулканитов устремляется по долинам рек Байдарной и Кабеку (рис. 2). Так, в последние годы был зафиксирован сход ряда пирокластических потоков, сопровождаемых пирокластическими волнами (Гирина и др., 2006; Горбач и др., 2013; Овсянников, Маневич, 2010). Как следствие, рельеф прирусловых частей долин крайне динамичен, однако нижние террасы были стабильны последние сотни лет, судя по лесной растительности.

Гигантский массив Шивелуча как бы запирает с севера центрально-камчатскую депрессию с ее субконтинентальным климатом. Климатические данные для южного макросклона вулкана могут быть оценены по материалам, полученным на единственной в этом районе метеостанции «Ключи» (Справочник ..., 1966, 1968). Средняя температура июля на станции «Ключи» достигает 14.7°, а января — 16.9°С, среднегодовое количество осадков — 860 мм. По имеющимся метеоданным выяснено, что в день извержения и несколько



Рис. 1. Зона погибшего ельника, заселенного ивой. Участок заложения трансекта, на котором проводились исследования. На дальнем плане — живой еловый лес, справа видна краевая часть зоны отложений пирокластического потока, заполнившего долину р. Байдарной. Фото А.Л. Лукомского, август 2017 г.

последующих дней после него была оттепель, со среднесуточной температурой в п. Ключи $-2 \dots -3^{\circ}\text{C}$.

Растительность нижней части юго-западного склона вулкана представляет собой хвойный лес из ели (*Picea ajanensis*) и лиственницы (*Larix cajanderi*), на высоте около 500 м сменяемый березняками из березы каменной (*Betula ermanii*), которые поднимаются примерно до 700 м (по склонам правобережья р. Байдарной). Выше располагаются заросли подгольцовых стлаников (*Alnus fruticosa*, *Pinus pumila*), горные луга и тундры (Гришин и др., 2000).

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Сбор материалов проходил в долине р. Байдарной в течение 2005–2017 гг. Обследовались как обширная зона отложений пирокластического потока, так и протяженная полоса погибшего леса, примыкающего к зоне отложений. В полосе мертвого древостоя исследовалось воздействие пирокластических волн на лесную растительность и начало восстановления растительного покрова. Изменения выявлялись и по спутни-

ковым снимкам, выполненным в 2002–2017 гг. (включая снимки высокого разрешения), а также по аэрофотоснимкам 1976 г. и снимкам с квадрокоптера 2017 г. Основные работы проведены на ключевом участке, расположенном на левой стороне долины Байдарной, на высоте около 310 м н.у.м. Здесь был заложен трансект длиной 200 м, идущий от края вулканической пустыни, образованной отложениями пирокластического потока, к внешне непострадавшему еловому лесу (рис. 2). На трансекте были заложены 20 примыкающих друг к другу площадок размером 10×10 м. На них проводились исследования растительного и почвенного покровов, а также пирокластических отложений; для этого применялся комплекс методов (изучение распределения и состава пирокластики, анализ воздействия волн на деревья по следам опаливания, картирование растительности вдоль трансектов и др.). Для изучения поселения и роста ивы удской были сделаны измерения высоты и возраста ее подроста (40 экземпляров; учет возраста у корневой шейки), а также раскопаны корневые системы ивы (5 экземпляров). Влажность и температура субстрата измерялась в разрезах отложений



Рис. 2. Долина р. Байдарной (юго-западный склон вулкана Шивелуч), перекрытая отложениями пирокластического потока 27 февраля 2005 г. Прямоугольник показывает район исследований и расположение трансекта. Снимок со спутника WVO-2 от 4 сентября 2013 г. На врезке — массив вулкана Шивелуч. 1 — р. Байдарная, 2 — р. Кабеку.

портативным регистратором ProCheck с датчиком объемной влажности почвы 5TM (Decagon Devices Inc., USA).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Масштабы воздействия на экосистемы. Пирокластический поток и волны 2005 г. нанесли мощный удар по экосистемам юго-западного подножия вулкана. Отложениями пирокластического потока и воздействием пирокластических волн извержения 2005 г. были уничтожены: ельники, зарастающие участки вырубок на месте ельников, долинные ольхово-тополевые леса, елово-лиственничные леса с березой каменной, березняки, горные стланиковые заросли (преимущественно из ольхового стланика), отчасти горные и высокогорные луга и тундры. Кроме того, отложениями были перекрыты зоны, почти свободные от растительности: краевая часть вулканической пустыни 1964 г., где в минувшие десятилетия началось интенсивное зарастание, и прирусловая нестабильная зона долины р. Байдарной (ниже 600 м н.у.м.). Суммарную площадь погребенного леса можно оценить величиной 10–12 км². Значительная часть уничтоженного леса относится к хвойным лесам (до 8 км²), в основном к ельникам (до 6 км²). Существенно, что лес погиб вдоль бортов новообразованной долины на площади около 4 км² под воздействием особо опасного и разрушительного фактора — пирокластической волны. Под воздействием волн погибла также стланиковая растительность вышерасположенного пояса на площади около 2 км².

Специфика воздействия волны. Шквалы раскаленных пирокластических волн вызвали гибель леса вдоль бортов потока (рис. 3): в четко видимой полосе шириной 150–250 м располагается погибший лес (хвойный по левому борту долины, и в основном лиственный — по правому). Гибель деревьев произошла в результате направленного (сверху вниз, по ходу движения потока) обжигания древесных растений. Наиболее интенсивное опаливание отмечается до высоты 3–5 м, иногда опалины охватывают стволы в круговую. По результатам детального картирования опаленных стволов выявлено, что на высоте 310 м, в поясе хвойного леса, ожог коры ориентирован в среднем под углом около 45° к направлению движения пирокластического потока. Скорость, температура и насыщенность пирокластикой газовой-песчаной волны быстро падала с удалением от края леса. Погибшие деревья показывают резкий градиент затухания мощности воздействия палящей волны: на заложенном трансекте живые деревья начинают появляться через 150 м от края пирокластического потока.

Тепловое и динамическое воздействие (выявленное по ожогам коры и повреждениям) коррелирует с мощностью отложений: через 150 м (перпендикулярно направлению движения волны) толщина отложений падала от 70–50 см до 7–8 см, и в этом интервале мертвый лес сменялся выжившим. У первых выживших деревьев усохли нижние и средние части крон. Через 20–50 м после них располагается живой лес почти без признаков воздействия высокотемпературного вихря.

Деревья, испытавшие воздействие пирокластической волны, погибли, но в основной массе выглядят почти неповрежденными (с сохранившимися кронами, целыми ветвями, зачастую с хвоей) (рис. 4а). Лишь ближе к краю потока и в верхней части долины, где воздействие волны было максимально интенсивным, можно увидеть стволы с обломанными ветвями, обугленной и поврежденной корой. Температура раскаленной волны была относительно невысокой (вероятно, до 250°С), поскольку последствий возгораний хвойных деревьев и кедрового стланика в подлеске не наблюдалось. Помимо недостаточно высокой для возгорания температуры палящей волны, этот факт можно объяснить несколькими причинами (Гришин, 2009), среди которых важнейшей была защитная роль снежного покрова (высота его была не менее 1.2 м, согласно данным метеостанции «Ключи»), а также снега на кронах деревьев.

В ходе наших исследований было выявлено, что для живых организмов (на примере древесных растений) температура волны более критична, чем динамическое давление. Среди причин гибели деревьев и стлаников в долине р. Байдарной и в районах двух других исследованных извержений (долина р. Кабеку и ее притоков, вулкан Шивелуч, октябрь 2010 г.; склоны вулкана Пик Сарычева, остров Матуа, Курильские острова, июнь 2009 г.) явно доминировало опаливание стволов и крон высокотемпературными газовой-песчаными шквалами (Гришин, 2013; Гришин и др., 2015). Растения не выдерживают такое мощное термическое воздействие и погибают (зачастую без видимых внешних повреждений).

Состояние растительности после извержения (август 2005 г.). Первое обследование в августе 2005 г. показало, что древостой был полностью погибшим, на мертвых стволах выделялись пятна опаливания. В полосе, примыкающей к долине, перекрытой отложениями пирокластических потоков, погибшие деревья имели более существенные повреждения (изгибание и облом скелетных ветвей, обдирание коры, вмятины на стволах от ударов летевших камней и глыб, обрыв хвои и тонких

ветвей, опаливание и обугливание коры). Если подстилка в усохшем лесу была перекрыта отложениями из мелкого песка (супеси), то стволы и ветви деревьев в 2005 г. были обильно покрыты отложениями более тонкой фракции.

В зоне усыхания леса и стлаников восстановление растительности протекает как вторичная сукцессия. В мертвом хвойном лесу, покрытом на

несколько десятков сантиметров отложениями пирокластической волны, в местах небольшой мощности отложений (или на буграх, кочках) отдельные травянистые растения успешно перенесли погребение и ожили в первое же лето. Этому способствовало перекрытие семян и почек покровом снега, высота которого к концу зимы превышает здесь 1 м. Снег же послужил



Рис. 3. Погибший ельник в августе 2005 г. (а) и распавшийся древостой с пологом ивы в августе 2017 г. (б). Фото С.Ю. Гришина.

НАЧАЛО ВОССТАНОВЛЕНИЯ

термоизолятором от раскаленной волны и ее отложений. Из растений в ельнике выжили иванчай узколистный *Chamerion angustifolium*, вейник *Calamagrostis langsdorffii*, линнея *Linnaea borealis*, шикша *Empetrum nigrum*, отдельные экземпляры подроста ели, возможно перед этим погребенные навалом снега.

Исходя из мощности отложений и степени поражения древесных растений (что в совокуп-

ности отражало интенсивность воздействия пирокластической волны), мы выделили по трансекту несколько зон (рис. 5). Зона I (расстояние от начала трансекта 0–30 м) — максимально интенсивное воздействие, мощность отложений 50–70 см, зона II (30–70 м) — сильное воздействие, средняя мощность отложений 24 см, зона III (70–150 м) — умеренное воздействие, средняя мощность отложений 12 см, зона IV (150–200 м) —

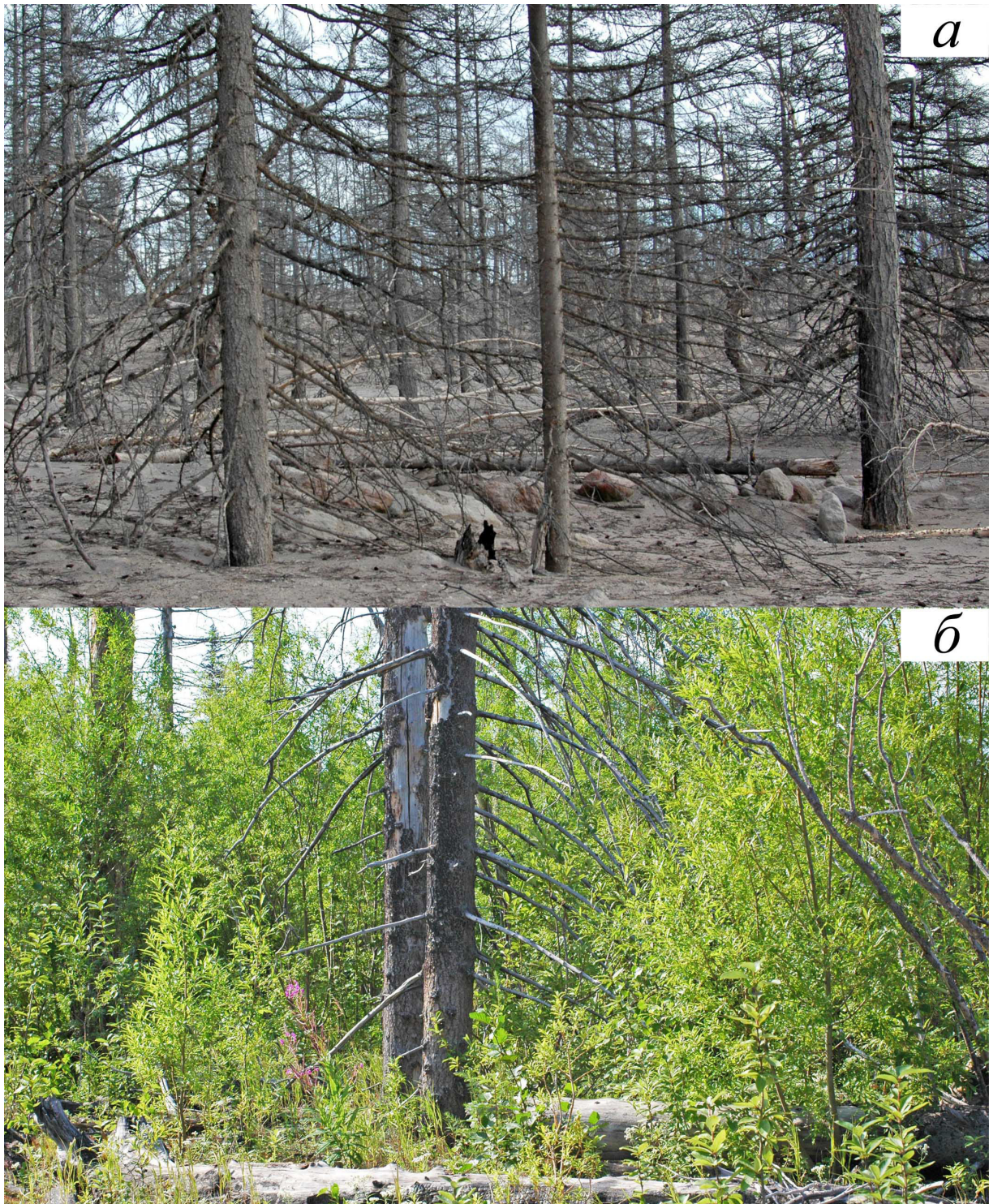


Рис. 4. Под пологом погибшего ельника в августе 2005 г. (а) и в августе 2017 г. (б). Фото С.Ю. Гришина.

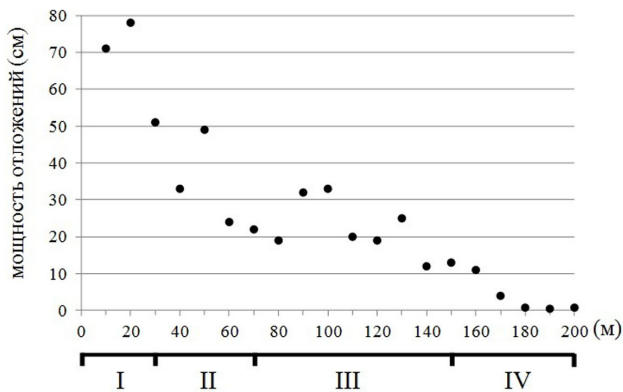


Рис. 5. Распределение мощности отложений (см) вдоль трансекта (м). Ниже оси абсцисс показаны зоны (I–IV) интенсивности воздействия пирокластической волны (объяснения в тексте).

слабое воздействие, средняя мощность отложений 5 см (в этой зоне деревья выжили). Как показали наблюдения в течение минувшего десятилетия, с этими зонами были связаны поселение и успешное развитие (с максимальными показателями роста) ивы удской.

Поселение ивы удской. Ива удская — распространённая на Дальнем Востоке России быстрорастущая древесная порода, заселяет влажные песчаные и галечниковые субстраты. Деревья достигают высоты 20–25 м при диаметре ствола 20–30 см (редко до 40 см); растут по долинам рек, поднимаются в горы до 1100–1600 м н.у.м. (Усенко, 2010). На прирусловых участках ива создает очень плотные заросли (тальники), в которых стволы достигают высоты 18 м при небольшом диаметре (16 см) (Стариков, 1958). Живут эти деревья недолго, до 60 лет, выпадая затем из древостоя и уступая место другим породам. Обычно заросли ивы окаймляют опушки леса, поселившись на молодых субстратах (прирусловые отложения и т.п.), или субстратах, возникших в результате нарушений растительного и почвенного покровов (при рубках леса, прокладке дорог, расчистке участков при строительстве и т.п.). В данном случае масштабные нарушения и образование нового субстрата произошли вследствие сильного вулканического воздействия.

Первые годы ива в начавших восстанавливаться растительных сообществах была почти незаметна. Первым стал массово заселяться иван-чай, и в августе 2006 г. местами поверхность отложений на опушке погибшего леса представляла собой обильный покров его всходов (в целом же преимущество по опушкам захватил мох *Funaria hygrometrica*). Анализ возраста крупных экземпляров ивы (40 шт.), показал, что массовое заселение ивы произошло в 2007–2009 гг. Однако до 2010 г. полог ивы еще не выделялся в формирующемся растительном покрове. В зоне уме-

ренных отложений доминирование захватили иван-чай узколистный и вейник Лангсдорфа. К 2009 г. иван-чай преобладал в зоне II–III, сформировав кочки-куртины, достигавшие высоты 1.5 м. Затем, к 2012 г. доминирование в этих зонах стало постепенно переходить к вейнику Лангсдорфа. В зоне I поверхность отложений оставалась покрытой преимущественно мхами.

Освоение ивой вулканического субстрата. Анализ гранулометрического состава отложений показал, что они достаточно однородны, в зоне отложений мощностью 30–50 см соответствуют супеси (средний и мелкий песок составляет 60–75% объема отложений). Объемная влажность субстрата в верхней части разреза (3–30 см), измеренная при помощи прибора ProCheck/5TM, составляет 18–18.5%. Это значение в 2–4 раза превышало влажность в верхнем горизонте отложений расположенных поблизости пирокластических потоков (в основном почти безжизненных и в 2017 г.).

Исследование корневой системы ивы удской в зоне мощных отложений показало, что ива формировала стержневой корень, быстро растущий вертикально вниз сквозь толщу отложений 2005 г. При этом ива образовывала в верхней части главного корня систему боковых (горизонтальных) корней, обеспечивающих питание в начальный период развития. Главный корень быстро достигал горизонта погребенной в 2005 г. почвы и упирался в подстилающую толщу старой пирокластике. Отметим, что мощность погребенной почвы оказалась крайне мала — около 3–6 см, она лежала на толще старых пирокластических отложений, имевших вид твердых, плотно слежавшихся отдельностей слегка окатанной пемзы. Приведем полевое описание разреза почвенно-пирокластического чехла в зоне II:

0–3 см. Дернина. Пепел густо пронизан корнями трав.

3–36 см. Пирокластические отложения. Темно-серый, свежая опесчаненая супесь. С глубины 13 см количество корней уменьшается, они становятся единичными.

36–40 см. Погребенная почва. Бурая, супесчаная, свежая. Густо пронизан корнями. Корни распространены по горизонту как вертикально, так и горизонтально. Средний диаметр корней 3–4 см.

40–46 см. Пепел с песком. Серо-бурый. Пронизан корнями. Распространен затеками в подстилающей пемзе.

46–60 см и ниже. Серо-коричневая пемза с песчаным заполнителем. Отдельности пемзы имеют размер 1–30 см, окрашены ржавой пленкой. Редкие тонкие белые живые корни.

Пемза, залегающая в описанном разрезе — это отложения пирокластического потока,

имеющего возраст около 380 лет (Ропомарева et al., 2015). Из-за ее высокой плотности главный корень ивы, вертикальный от основания ствола, не имея возможности проникнуть в плотный субстрат пемзового горизонта, распространился над его верхней границей горизонтально (рис. 6). В дальнейшем, к возрасту ивы 7–8 лет, главный корень приобретал вид мощного деревянистого стержня, диаметром до 6 см и длиной до изгиба до 60 см. К изгибу диаметр уменьшался, а в горизонтальной части он не превышал 3–4 см. От горизонтальной части главного корня также расходились боковые корни, распространившиеся в горизонте погребенной почвы. Таким образом, быстро проникнув через толщу свежих рыхлых отложений 2005 г., ива использовала питательные вещества погребенной почвы. Зафиксировано, что с глубиной происходило закономерное падение температуры субстрата. Так, если на глубине 10 см, в горизонте пирокластике 2005 г., 12 августа 2014 г. была отмечена температура 23.2°C, то на глубине 36 см, в



Рис. 6. Двухъярусная корневая система ивы удской, пронизывающая пирокластические отложения; нижняя часть главного корня повернута на 90° и размещена в слое погребенной почвы (слой показан стрелкой). Фото С.Ю. Гришина.

горизонте погребенной почвы — 17.9°. Несмотря на то, что понижение температуры с глубиной означает определенное ухудшение условий в корнеобитаемой зоне нижней части профиля, в целом свойства свежего вулканического субстрата оказались весьма благоприятными для поселения и закрепления ивы.

Формирование полога молодняка. Учеты растительного покрова, проведенные в 2009, 2012, 2014 и 2017 гг., показали последовательное внедрение и захват пространства ивой удской. При этом происходило как увеличение проективного покрытия зарослей, так и их высоты. Первичное внедрение ивы связано с зоной мощных (30–50 см) отложений пирокластической волны. Серией последовательных учетов удалось выявить, что зона ивняка постепенно расширялась: от интервала 20–50 м по профилю в 2009 г., до интервала 10–120 м в 2017 г. (учитывались площадки, на которых проективное покрытие ивы составляло не менее 10%). При этом если в 2009 г. ивовые заросли создавали максимальное проективное покрытие 15% (на учетной площадке 10×10 м), то в 2012 г. — 50%, а в 2014 г. — 80%. Максимальная высота подроста при этом увеличилась от 2.5 м в 2009 г., до 4 м в 2012 г., 5.8 м в 2014 г., и 7.6 м в 2017 г. Увеличивалась и толщина ствола; на уровне корневой шейки она превысила в среднем 9 см в 2017 г. Судя по ширине колец, наиболее интенсивный радиальный прирост (до 12–13 мм/год) происходил первые 5 лет, затем рост замедлялся до 3–4 мм/год.

Таким образом, ива интенсивно захватывает пространство, и почти безжизненную опушку погибшего леса 10 лет спустя окаймляет сплошной зеленый покров ее зарослей (рис. 4б). Под пологом ивы формируется вейниковый, травяной (с неявным доминированием иван-чая), а в местах с наибольшей плотностью стволиков — редкосторонний ярус. В условиях динамического изменения параметров древесного яруса (высота, ширина крон, сомкнутость) ситуация в нижних ярусах также будет заметно меняться.

ОБСУЖДЕНИЕ

Разрушительная пирокластическая волна февральского извержения 2005 г. привела к гибели растительность в полосе, окаймляющей обширную долину р. Байдарной. Был уничтожен крупный массив хвойного леса (крупнейший за последнее столетие массив хвойного леса на Дальнем Востоке России, погибший от воздействия волны). Основными причинами гибели деревьев было термическое и механическое воздействие высокоскоростного и высокотемпературного газовой-песчаного вихря.

В чем причины столь успешного заселения, быстрого роста и прогресса ивы в захвате территории, покрытой свежим вулканическим субстратом? Близость источников обсеменения достаточно очевидна: ива удская широко распространена в лиственных и смешанных лесах долины р. Байдарной (расположенных ниже по долине, на расстоянии 2–3 км), встречается и в прилегающих хвойных лесах (минимальное расстояние — 100–200 м). При заселении важно отсутствие конкуренции, но в то же время экологические условия первых лет должны быть не слишком жесткими (del Moral, Grishin, 1999), как например, в расположенной рядом открытой вулканической пустыне, сформированной отложениями пирокластических потоков. Быстрому заселению ивой способствовали условия частичной защиты от неблагоприятных факторов (сильного ветра, пылевых вихрей, избыточной инсоляции, сильного нагрева и иссушения субстрата), созданные кронами, стволами и валежом погибшего древостоя, а также быстро развившимся покровом иван-чая. Помимо потенциала погребенной почвы, способствующего интенсивному развитию подростка ивы, благоприятным фактором, по-видимому, стал более стабильный режим влажности корнеобитаемой зоны субстрата (включая погребенную почву). Быстрый рост ивы (до 7–8 м в высоту за 10 лет) особенно контрастирует с приростом молодняка ели, изученным Ю.И. Манько и В.П. Ворошиловым (1978) в ельниках данного района — он составлял 0,3–1,5 м за 10 лет.

Сукцессия в зонах I–II началась в основном как первичная, с заселения ювенильного субстрата, но по достижении корнями ивы погребенной почвы и началом использования ее ресурсов, превратилась во вторичную. Сформировавшаяся двухъярусная структура боковых корней ивы позволяет ей успешно развиваться в условиях длительной сезонной мерзлоты: в начале вегетационного сезона, когда на глубине несколько десятков сантиметров еще отмечается промерзание грунта (в 1972 г. оно фиксировалось Ю.И. Манько и В.П. Ворошиловым (1978) в ельниках Шивелуча до начала июля), корни верхнего яруса обеспечивают питание древесного растения. При этом постепенное протаивание промерзших горизонтов создает стабильный режим влажности почв в первой половине лета. Ярус молодняка ивы будет увеличиваться в высоту, а также постепенно захватывать пространство, занятое пока мхами (начало трансекта) и плотной травяной растительностью, в основном из вейника Лангсдорфа, во второй половине трансекта (участки в интервале 70–150 м). Вейник формирует плотную дернину, но ива продолжает селиться на любых освобож-

дающихся участках, используя возможности территории, на которой происходит распад и вываливание погибшего древостоя. Таким образом, поселение, укоренение и интенсивный рост ивы, сформировавшей за десятилетие почти сомкнутые заросли, связаны как со специфическим комплексом экотопических условий, так и широкими адаптивными возможностями данного вида.

Каковы перспективы сукцессии с участием ивы удской? В типичной послепожарной сукцессии (которая является вторичной) в ельниках юго-западного склона вулкана Шивелуч, погибший древостой сменяется пологом березы каменной, которая, в свою очередь, постепенно замещается елью, формируя ельники зеленомошные на высоте 200–400 м н.у.м. (Манько, Ворошилов, 1978). В данном случае сукцессия, имея изначально черты первичной, протекает иначе. Под смыкающимся пологом ивняка присутствует, хотя и ограниченно, поселившийся мелкий подрост хвойных, в первую очередь ели. По мере продолжения процесса распада погибшего древостоя, новый подрост ели будет массово поселяться и на трухлявом валеже, как это происходит обычно в ельниках Камчатки. Этот подрост в частично затененных условиях будет медленно развиваться, и к периоду изреживания и распада древостоя ивы можно ожидать выход ели в полог древостоя. Распад древостоя ивы произойдет, по-видимому, приблизительно через 50 лет; надо отметить, что изреживание ивняков в пойменных условиях начинается уже через 10–15 лет (Шамшин, Казаков, 2004). Помимо участия хвойных (ели и лиственницы) вполне вероятно участие ряда лиственных пород (березы каменной и белой, рябины камчатской, ольхи серой и, возможно, тополя душистого) и кустарников, включая ольховый и кедровый стланики. В пределах последующих 50 лет ель сформирует полог, в котором она будет доминировать, но древостой останется многовидовым, со значительным участием лиственных деревьев и стлаников, и лишь постепенно, со сменой поколений деревьев, будет превращаться в темнохвойный лес. Одновременно будет формироваться новый почвенный горизонт поверх пирокластических отложений 2005 г. Отмечалось, что ива способствует быстрому нарастанию почвенного слоя (Шамшин, Казаков, 2004). Ускорению этого процесса будут способствовать присыпки тефры частых пеплопадов вулкана Шивелуч.

Наиболее близкий аналог быстрого заселения рыхлого вулканического субстрата в условиях Камчатки — сукцессия на тефре Толбачинского извержения 1975 г., которая происходит на лавах прорыва Звезда (Гришин, 2010). Однако там она идет заметно медленнее,

и главный поселенец — разреженно растущий тополь душистый; ива удская практически не участвует в сукцессии. Наиболее важны экологические различия этих территорий — гранулометрический состав базальтовой тефры на Толбачике существенно иной, по сравнению с однородным материалом на Шивелуче (размер отдельностей базальтового шлака варьирует от 1 до 15 мм, при этом присутствуют песчаные и пылевые фракции). Тефра лежит на плитах лавы, на которой фрагментами присутствуют участки с примитивной маломощной (1–3 см) почвой. Выявлено, что главное различие субстратов связано с низкой водоудерживающей способностью толбачинской тефры. При этом местообитания на лаве прорыва Звезда являются открытыми, и летом поверхность темно-серого (до черного) шлака быстро нагревается и пересыхает. Таким образом, различия во влагообеспеченности определяют более медленный темп заселения и освоения субстрата на вулкане Толбачик по сравнению с районом вулкана Шивелуч. Обе сукцессии при этом должны привести к постепенному формированию хвойного леса с участием ели, но длительность их, по-видимому, будет существенно различаться.

Исследование проведено при поддержке гранта РФФИ 13-05-00686. Помощь в полевых исследованиях оказали А.Г. Лазарев, А.Л. Лукомский и Т. Накано, в исследовании субстрата принимали участие С.А. Шляхов и И.В. Киселева, обсуждение проводилось с М.М. Певзнер и А.П. Левусом. Всем перечисленным коллегам авторы выражают свою признательность.

Список литературы

- Гирина О.А., Демянчук Ю.В., Мельников Д.В. и др.* Пароксизмальная фаза извержения вулкана молодой Шивелуч, Камчатка, 27 февраля 2005 г. // Вулканология и сейсмология. 2006. № 1. С. 16–23.
- Горбач Н.В., Плечова А.А., Пономарева В.В., Тембрел И.И.* Эксплозивное извержение вулкана Шивелуч 26 июля 2013 г. // Вестник КРАУНЦ. Серия: Науки о Земле. 2013. № 2. Вып. 16. С. 15–99.
- Горшков Г.С., Дубик Ю.М.* Направленный взрыв на вулкане Шивелуч // Вулканы и извержения. М.: Наука, 1969. С. 3–37.
- Гришин С.Ю.* Поражение растительности в результате крупного извержения вулкана Шивелуч (Камчатка, 2005 г.) // Вестник ДВО РАН. 2008. № 1. С. 45–52.
- Гришин С.Ю.* Гибель леса на вулкане Шивелуч под воздействием палящей пирокластической волны (Камчатка, 2005 г.) // Экология. 2009. № 2. С. 158–160.
- Гришин С.Ю.* Смена растительного покрова под воздействием вулканического пеплопада (Толбачинский дол, Камчатка) // Экология. 2010. № 5. С. 389–392.
- Гришин С.Ю.* Заселение растениями поверхности горячего пирокластического потока (вулкан Шивелуч, Камчатка) // Экология. 2012. № 2. С. 156–158.
- Гришин С.Ю.* Сильное извержение вулкана Пик Сарычева // Природа. 2013. № 6. С. 54–66.
- Гришин С.Ю., Крестов П.В., Верхолат В.П., Якубов В.В.* Восстановление растительности на вулкане Шивелуч после катастрофы 1964 г. // Комаровские чтения. Владивосток: Дальнаука, 2000. Вып. 46. С. 73–104.
- Гришин С.Ю., Бурдуковский М.Л., Лазарев А.Г. и др.* Гибель растительности в результате прохождения пирокластической волны (вулкан Шивелуч, Камчатка, 2010 г.) // Вестник ДВО РАН. 2015. № 2. С. 101–108.
- Манько Ю.И., Ворошилов В.П.* Еловые леса Камчатки. М.: Наука, 1978. 256 с.
- Мелекесцев И.В., Вольнец О.Н., Ермаков В.А. и др.* Вулкан Шивелуч // Действующие вулканы Камчатки. Т. 1. М.: Наука, 1991. С. 84–103.
- Овсянников А.А., Маневич А.Г.* Извержение вулкана Шивелуч в октябре 2010 г. // Вестник КРАУНЦ. Серия: Науки о Земле. 2010. № 2. Вып. 16. С. 7–9.
- Справочник по климату СССР. Вып. 27. Камчатская обл. Л.: Гидрометеиздат, 1966. Ч. 2. 184 с.; 1968. Ч. 4. 211 с.
- Стариков Г. Ф.* Леса Магаданской области. Магадан: Кн. изд-во, 1958. 233 с.
- Усенко Н.В.* Деревья, кустарники и лианы Дальнего Востока: справочная книга. Хабаровск: Приамурские ведомости, 2009. 271 с.
- Шамшин В.А., Казаков Н.В.* Пойменные леса Камчатки // Тр. КФ ТИГ ДВО РАН. Петропавловск-Камчатский: Камч. печатный двор, 2004. Вып. V. С. 381–393.
- Baxter P.J., Boyle R., Cole P. et al.* The impacts of pyroclastic surges on buildings at the eruption of the Soufriere Hills volcano, Montserrat // Bulletin of Volcanology. 2005. № 67. P. 292–313.
- del Moral R., Grishin S.* Volcanic disturbance and ecosystem recovery // Ecosystems of Disturbed Ground. Elsevier, Amsterdam, 1999. P. 137–160.
- Ponomareva V., Portnyagin M., Pevzner M. et al.* Tephra from andesitic Shiveluch volcano, Kamchatka, NW Pacific: chronology of explosive eruptions and geochemical fingerprinting of volcanic glass // International Journal of Earth Sciences. 2015. V. 104. № 5. P. 1459–1482.

ГРИШИН и др.

**THE BEGINNING OF RESTORATION OF FOREST VEGETATION
AFTER THE FEBRUARY 27, 2005 PYROCLASTIC SURGE
FROM SHEVELUCH VOLCANO (KAMCHATKA)**

S.Yu. Grishin, P.A. Perepelkina, M.L. Burdukovskii, A.N. Yakovleva

*FSC of the East Asia Terrestrial Biodiversity of Far Eastern Branch of Russian Academy of Science,
Vladivostok, 690022*

In the spruce forest destroyed by a powerful pyroclastic surge, willow has been reestablishing on the surge deposits. Over a decade, the willow has formed a 6–8 m high canopy. The authors have specified the following factors that contributed to such a rapid reestablishing: a favourable moisture regime of the root zone caused by the deposition of the surge, the resources of the buried soil that feed the willows, and a certain protective role of dead trees. Prospects of further succession are being discussed; the authors have concluded that over about a 50-year-long period the willow will mostly fall out; by the end of the century the spruce will have partially restored its positions, but the stand will be mixed.

Keywords: pyroclastic surge, succession, edaphic factors, Salix udensis, Shiveluch.