

ВЛИЯНИЕ КАТАСТРОФИЧЕСКОГО ИЗВЕРЖЕНИЯ ВУЛКАНА КСУДАЧ (КАМЧАТКА, 1907 г.) НА ЛЕСНУЮ РАСТИТЕЛЬНОСТЬ

С.Ю. Гришин, П.В. Крестов, В.П. Верхолат, А.П. Левус
Биолого-почвенный институт ДВО РАН, Владивосток

Введение

28 марта 1907 г. произошло катастрофическое explosive извержение конуса Штюбеля, располагающегося в кальдере влк. Ксудач (южная Камчатка). Были извергнуты ювенильные вулканические материалы (1 км³), представленные кислой дацитовой пемзой, которые выпали на огромной территории. Так, в Петропавловске-Камчатском, расположенном в 160 км от центра извержения, грубый вулканический песок отложился слоем 2–3 см, а более тонкий пепел выпал по всей Камчатке и был отмечен на континентальном побережье Охотского моря [Влодавец, Пийп, 1957; Дубик, Меняйлов, 1971; Мелекесцев, Сулержицкий, 1987; Bursik et al., 1993].

Извержение вызвало гибель и повреждение растительности на большой территории, что не прошло мимо внимания В.Л. Комарова, работавшего год спустя после извержения в районе Петропавловска-Камчатского. В краткой, но выразительной форме он записывает десятки наблюдений [Комаров, 1912, 1940] о вулканическом воздействии на растительный по-

кров, которые позволяют оценить как масштабы этого неординарного природного явления, так и реакцию растительности на него. Шведский ботаник Э. Хультен [Гультен, 1925; Hulten, 1974] наблюдал в 1922 г. последствия катастрофы в районе к северу от Ксудача. Сама кальдера была посещена впервые участниками экспедиции Ф.П. Рябушинского весной 1910 г. [Конради, Келль, 1925] и изучалась вулканологами начиная с 1937 г. [Морозов, 1948; Влодавец, Пийп, 1957; и др.].

В августе 1991 г. С. Гришин и В. Якубов впервые после Э. Хультена, провели краткие наблюдения за современным состоянием растительности и особенностями зарастания вулканических субстратов в кальдере Ксудач. В августе 1994 г. авторами настоящей статьи были проведены более основательные работы в лесном поясе к северу от кальдеры. Цель этих работ: очертить влияние извержения 1907 г. на растительность (масштабы и факторы поражения), определить направление, механизм и длительность сукцессий, подготовить карты растительности, отражающие изменения в растительном покрове. Часть собранных материалов опубликована (Grishin et al., 1996; Гришин и др., в печати).

Методика

Была заложена серия геоботанических профилей и выполнен ряд дополнительных описаний на маршрутах. Базовый профиль (рис. 1) располагался приблизительно в 10 км к северу от центра извержения перпендикулярно оси пеплопада на высоте около 200 м над ур. моря. На нем было заложено 8 пробных площадей размером 20x100 м, состоящих из 20 примыкающих квадратов 10x10 м. На 6 пробных площадях (пр. пл. 1, 3, 5–8) производился полный пересчет древостоя и подроста, измерялся возраст и размеры средних и наиболее крупных деревьев. Обилие и встречаемость видов кустарникового, травяно-кустарничкового и мохово-лишайникового ярусов оценивали по методике Браун-Бланке на 30 регулярно располагающихся площадках 1x1 м. Описывалась синузальная структура, и картировалась вертикальная и горизонтальная структура на

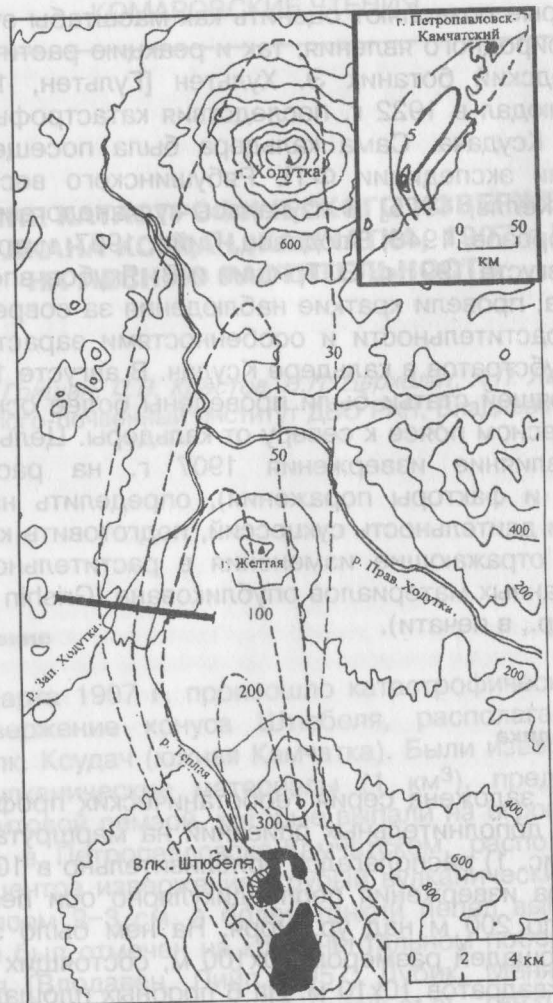


Рис. 1. Схема района исследования. Пунктиром показаны изопахиты тефры для 30-, 50-, 100-, 200- и 300-сантиметровой мощности отложений, на врезке сплошными линиями – для 1- и 5-сантиметровой мощности. Жирным отрезком показан базовый геоботанический профиль

профильных диаграммах. В почвенных разрезах и прикопках фиксировалась мощность выпавшей пемзы. Крупномасштабные карты растительности составлены на основе дешифрирования на маршрутах материалов аэрофотосъемки.

Природные условия

Кальдера Ксудач образовалась на месте вершины раннеплейстоценового щитовидного стратовулкана диаметром 35 км и состоит из нескольких вложенных друг в друга кальдер обрушения типа Кракатау [Камчатка..., 1974; Апродов, 1982; Мелекесцев, Сулержицкий, 1987; Брайцева и др., 1995]. Активная вулканическая деятельность в районе кальдеры не утихает, по данным вулканологов, в течение всего периода ее существования. За последние 2000 лет произошло 4 крупных извержения, последнее из которых (1907 г.) явилось одним из крупнейших эксплозивных в XX столетии на Камчатке. Предыдущие, менее мощные извержения произошли примерно 300 и 1000 лет назад. Объем их отложений составил соответственно 0,1–0,2 и 0,4 км³. Существенные для растительности мощности отложений отмечены лишь в пределах кальдеры и к югу от нее. Наиболее интересным является крупнейшее из известных на сегодняшний день камчатских извержений, происшедшее 1700–1800 лет назад. Оно было почти на порядок мощнее извержения 1907 г. После 1907 г. отмечается только слабая фумарольная деятельность в центре кальдеры.

Современная структура кальдеры имеет почти замкнутую округлую форму, диаметр которой по гребню около 8 км, а с внешними склонами – около 25 км. Высота гребня кальдеры 900–1000 м над ур. моря, она имеет пологие внешние и крутые внутренние склоны с относительной высотой 200–500 м над внутренней поверхностью кальдеры. Вулканические образования (экструзии, конус Штюбеля) разделяют внутреннее пространство кальдеры на две половины: западную, с преобладающей в ее средней и северной части вулканической пустыней с круто врезанными каньонами рек, и восточную, занятую озерами. Конус Штюбеля – неоднократно извергавшийся вул-

кан около 3 км диаметром, с внутренним кратером около 1,5 км диаметром, занятым озером. Абсолютная высота косо усеченного в результате взрыва конуса около 650 м и относительная – 250 м. Он имеет пологие внешние склоны, перекрытые материалами прошлых извержений [Влодавец, Пийп, 1957], и почти отвесные внутренние склоны взрывного кратера.

Климат южной Камчатки приокеанический североборельный: короткое холодное лето, умеренно холодная длительная зима, большое количество осадков в течение всего года (табл. 1). Характерным является мощный (в среднем до 1,5 м) снеговой покров, не стаивающий порой до июля.

Почвы в районе исследований слоисто-пепловые вулканические с мощными прослоями вулканических горизонтов и погребенными почвами. Проиллюстрировать сложную историю развития рельефа и почв в последние тысячелетия может 7-метровый профиль на берегу р. Теплая (рис. 2, пр. пл. 3). В разрезе отмечены 3 мощных слоя пемзы влк. Ксудач, пепел влк. Опала, 2 погребенных почвенных горизонта и современный элементарный почвенный горизонт со следами примитивного почвообразования в верхнем 15-сантиметровом слое 95-сантиметровых отложений пемзы 1907 г. Такая стратиграфия почвенно-пепловых горизонтов типична для равнин подножий кальдеры, перекрытых чехлом пирокластических отложений и не затронутых современными эрозионными процессами. Лугово-дерновые (пойменно-дерновые) почвы, модифицированные влиянием грубообломочной пирокластики, встречаются на узких прирусловых участках пойм. Перегнойно-глеевые почвы окаймляют бессточные заболоченные западины лавовых покровов. Они также приурочены к местам выхода к поверхности грунтовых вод в притеррасных участках поймы.

Растительность южной Камчатки описана Хультенем [Hulten, 1974]. В районе Ксудача каменноберезовые леса из *Betula ermanii* Cham. поднимаются до 300–400 м над ур. моря, ольховостланиковые (*Alnus fruticosa* Rupr.) заросли – до 700–800 м, а выше располагается комплекс высокогорной гольцовой растительности. Столь низкое положение верхней границы леса объясняется малой теплообеспеченностью вегетационного периода. В долинах рек растут тополево-ивовые леса и кус-

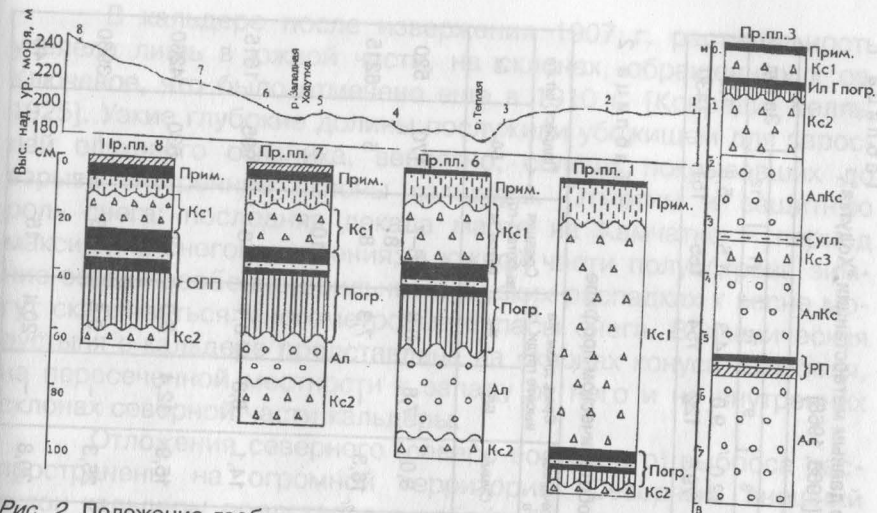


Рис. 2. Положение геоботанического профиля в рельефе и почвенные разрезы. Усл. обозн.: Прим. – примитивная почва на поверхности пемзы 1907 г., Погр. – погребенная почва, ОПП – охристо-подзолистая почва, ИлГпогр. – иллювиально-гумусовая погребенная почва, АлКс – аллювиальные отложения, перемешанные с тефрой, Ал. – аллювиальные отложения, Сугл. – суглинок, Кс1 – пемза 1907 г., Кс2 – пемза извержения, происшедшего 1700–1800 лет назад, Кс3 – тефра извержения, происшедшего 2400 (?) лет назад

тарники, на аллювиальных террасах и равнинах – луговая, с кустарниками, растительность, местами – болота.

Поражение растительности

Впервые данные о территории, на которой была поражена растительность, приведены в работах Хультена. На мелкомасштабной схеме растительности [Hulten, 1974] довольно точно показана территория с полностью уничтоженной и частично поврежденной растительностью. Последняя простирается до влк. Асача (50 км к северу). Растительность западного, большей части восточного и южного макросклонов кальдеры почти не была повреждена извержением, за исключением крупного (около 50 км²) сектора юго-восточного склона, который был превращен в вулканическую пустыню.

Среднемесячная температура воздуха и количество осадков по данным метеостанции "Ходутка", согласно Справочнику по климату СССР [1966, 1968]

	Месяц												За год
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Температура, °С	-8,1	-8,2	-5,8	-1,5	2,3	7,3	11,2	12,0	9,0	4,3	-1,5	-5,8	1,3
Осадки, мм	123	83	144	123	104	63	119	79	122	154	165	151	1430

Таблица 2

Некоторые характеристики лесных сообществ на геоботаническом профиле

№ пр. пл.	Высота над ур. моря, экспозиция, крутизна, град.	Рельеф	Мощность пемзы, см	Число живых деревьев, шт./га		Сумма площадей сечений стволов, м ² /га		Сред. диам. на высоте груди, см		Средняя высота 1-го яруса, м	Порост, шт./га		
				Б6	Бк	Б6	Бк	Б6	Бк		Б6	Бк	
1	200 ЮВ,	Флювиогляциальная равнина	95	635	1720	3,1	4,9	8,0	7,8	6,0	6-7	170	520
2	3-4	То же	70								8		
3	200	Высокая терраса реки	58	5	4360	-	18,3	18,3	-	7,3	8	5	6215
4	190	Аллювиальная равнина	33								10		
5	185	Терраса, перекрытая древним лавовым потоком	37	1705	705	10,4	3,7	14,1	8,8	8,1	8	995	1615
6	190	Край лавового покрова, перекрытого делювием	31	825	1075	10,0	5,9	15,9	12,4	8,3	9	630	4260
7	210	Ровный участок на склоне	24	-	3480	-	25,3	25,3	-	9,6	15	-	3960
8	240	Вулканогенного холма Пологий шлейф у подножия вулканогенного холма	19	-	940	-	30,8	30,8	-	20,4	15	-	40

В кальдере после извержения 1907 г. растительность уцелела лишь в южной части, на склонах; обращенных к оз. Ключевое, что было отмечено еще в 1910 г. [Конради, Келль, 1925]. Узкие глубокие долины послужили убежищем для зарослей ольхового стланика, вероятно, сплошь покрывавших до взрыва внутренние склоны кальдеры. Отметим и защитную роль снега: последняя декада марта на Камчатке – период максимума снегонакопления; в южной части полуострова зимние осадки особенно обильны, и в узких распадках к весне могут скапливаться многометровые запасы снега. Вулканическая пустыня в кальдере представлена на склонах конуса Штюбеля, на пересеченной местности к западу от него и на внутренних склонах северной части кальдеры.

Отложения северного (северо-восточного) выброса распространены на огромной территории. Северный внешний склон кальдеры представляет собой обширную вулканическую пустыню площадью более 100 км², протянувшуюся к северу на 15 км. Абсолютная высота ее понижается приблизительно от 900 до 200 м. Стланиковая и лесная растительность частично сохранилась к западу от этого поля только в долине р. Теплая, вытекающей из кальдеры, вероятно, благодаря глубокому (на 150-200 м) врезу долины реки.

Работы на базовом геоботаническом профиле, заложенном в лесном поясе, позволили выявить критические уровни для гибели/выживания лесной растительности (табл. 2). Пробные площади заложены в близких по абсолютной высоте, но существенно различающихся по рельефу условиях. Мощность отложений пемзы в пределах профиля изменяется в 5 раз: от 95 до 19 см. Профиль начинается на краю вулканической пустыни в слабосомкнутых молодняках, где отсутствуют деревья, пережившие извержение (пр. пл. 1), и заканчивается в старом распадающемся каменноберезовом лесу, находящемся на контакте с поясом ольхового стланика. Молодые древостои, образовавшиеся после извержения, описаны на пр. пл. 1-6, сохранившиеся – на пр. пл. 7 и 8. Выжившие деревья встречаются как уникально сохранившиеся начиная с пр. пл. 2, и единично – в районе пр. пл. 3, где можно встретить одно такое дерево на 1-3 га.

Судя по имеющимся данным, полученным на базовом профиле и в серии геоботанических описаний на маршрутах, критическим уровнем для гибели основной части древостоя явился порог около 30 см отложившейся пемзы. При мощности более 30 см уцелела некоторая часть деревьев, которая возможно в течение нескольких лет или десятилетий уменьшилась до единично сохранившихся экземпляров. Интервал "выживаемости" отдельных деревьев соответствует 30–70 см отложений. При уровне более 70 см погибли абсолютно все деревья. Отложения тефры мощностью менее 30 см также сказались на травяных, кустарничковых и мохово-лишайниковых растительных сообществах вплоть до района г. Петропавловска-Камчатского, что было на многих примерах показано В.Л. Комаровым [1912].

Факторами поражения явились, вероятно, главным образом механическое повреждение и облом ветвей и тонких стволов падающими с большой скоростью крупными (до 10 см в диаметре, а возможно и большими) кусками пемзы. В результате у деревьев была в той или иной степени обломана крона и ободрана кора. Другим негативным фактором, видимо, стало ухудшение эдафических условий (химизма, температурного режима и аэрации почв).

Динамика отмирания деревьев не вполне ясна в настоящее время. Судя по единичным выжившим экземплярам и сохранившемуся в той или иной степени разложения валежу в молодом лесу и новообразованных вулканических пустынях, можно предположить, что отмирание происходило с экспоненциальным затуханием количества усохших деревьев: массово в первые годы и все более замедленно в последующие. Видимо, этот процесс растянулся на несколько десятилетий.

Основываясь на имеющихся у нас данных по ряду более "молодых" извержений на Камчатке (на вулканах Ключевской, 1932, 1938 гг., Авачинский, 1945 г., Безымянный, 1956 г., Шивелуч, 1964 г., Толбачик, 1975 г.), можно полагать, что отложения 20 см и даже 10 см тефры 1907 г. вызвали почти полную гибель нижних ярусов сообществ в каменооберезняках. Кустарниковый ярус погибал в основном при мощности отложений 20–30 см, а мохово-лишайниковый – менее 10 см. При этих уровнях отложений происходил и частичный отпад древостоя,

через его усыхание. Так, 10 лет спустя после летнего Толбачинского извержения 1975 г. нами было отмечено усыхание до 8% древостоя при мощности тефры 2–3 см и до 20% при мощности 10–12 см.

Отпад древостоя при аналогичных извержениях зимнего периода, когда эффект воздействия ослаблен мощным снеговым покровом, зависит от возрастных и метрических параметров деревьев. Так, после февральского извержения влк. Авачинский в 1945 г. зафиксировано выживание взрослого крупного древостоя при максимальной на верхней границе леса мощности тефры 55 см, тогда как более молодые деревья погибли и при меньших отложениях.

Подобная закономерность отчасти была прослежена и в районе Ксудача. После извержения особо крупные деревья каменной березы, по-видимому, продолжали некоторое время вегетацию при мощности тефры до 1–1,5 м, о чем говорят неразложившиеся остатки их стволов и сохранившиеся пни. В зоне отложений, которые имели мощность менее 30 см, древостой испытал соответственно меньшее воздействие бомбардировки пемзой, так как куски ее здесь были заметно меньше (до 3 см). Современная возрастная структура этих древостоев, о которой можно судить по распределению диаметров деревьев на пр. пл. 7 и 8, заметно отличается от типичной, характерной для климаксовых лесов Камчатки (рис. 3): увеличена доля молодняка (диаметр на высоте груди 4–16 см) и имеются разрывы в ряду поколений. Эти разрывы соответствуют выпадению поколения молодых берез, имевших в 1907 г. диаметр 15–35 см, судя по известным средним темпам роста.

Анализ возрастов деревьев показал, что во многих случаях извержение пережил подрост, имевший диаметр ствола около 2 см. Этот факт позволяет сделать предположение, что часть подроста и молодняка, которые обычно представлены в климаксовых сообществах в очень небольших количествах, уцелела под защитой крон крупных деревьев. Возможно, часть подроста порослевого происхождения после извержения продолжала расти, используя для питания ресурсы погребенной почвы, получаемые через корневые системы материнских деревьев, в том числе и погибших.

Используя собственные данные и данные вулканологов по площадям отложений (И.В. Мелекесцев и др., неопубл. данные), мы можем оценить масштабы воздействия извержения 1907 г. на лесную растительность (табл. 3). Размер территории, где произошли существенные изменения в каменноберезовых

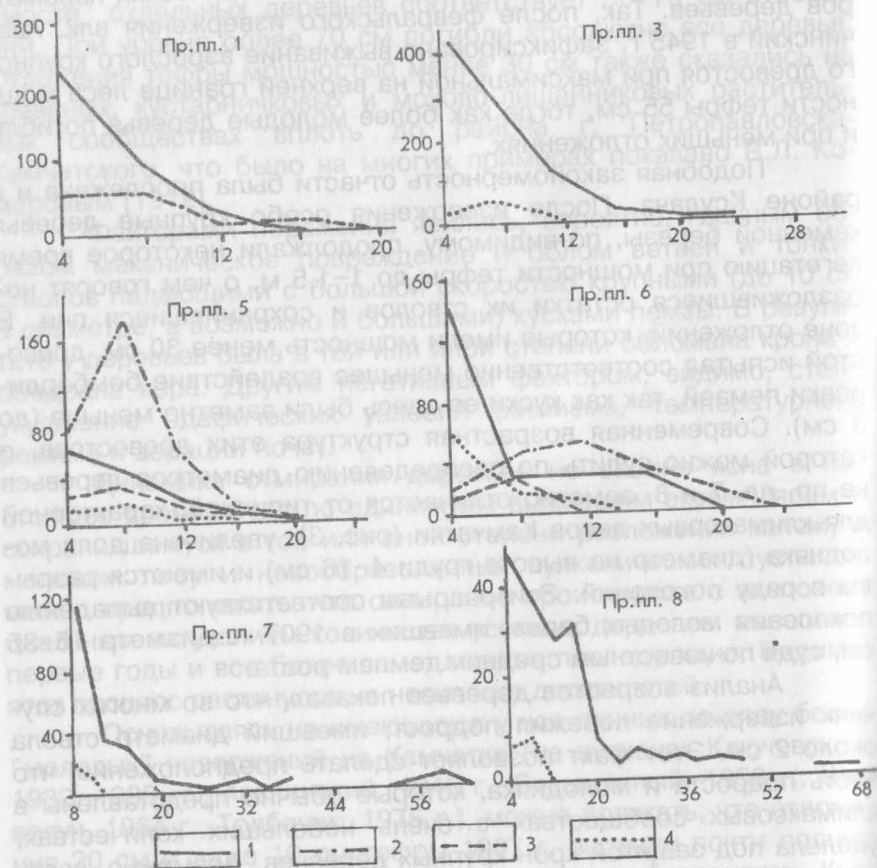


Рис. 3. Распределение деревьев (шт./0,2 га) по ступеням толщины (см) на пр. пл. 1-8: 1 - береза каменная, 2 - береза белая, 3 - береза каменная сухая, 4 - береза белая сухая

лесах, составляет около 1800 км², в том числе почти полная гибель этих лесов - в пределах 500-600 км², и абсолютная гибель - на площади около 120 км². В эти числа входят территории собственно кальдеры, территории северного выброса и крупного юго-восточного сектора. Наши измерения площадей поражения березовых лесов по картам растительности (рис. 4), сделанным на основе аэрофотоснимков, дали следующие числа: полное поражение лесной растительности - в пределах 124 км², территория с единично выжившими деревьями - 71 км². Таким образом, реальная площадь погибшей лесной растительности составляет около 200 км². Остальная территория в пределах 500-600 км² приходится на кустарниковую субальпийскую и высокогорную растительность, растительность аллювиальных лугов, долинных лесов и болот.

Таблица 3
Связь между отложениями тефры и поражением растительности

Мощность отложений, см	Площадь отложений, км ²	Характер поражения
1-5	8460	Угнетение и разрушение некоторых компонентов травяной, кустарничковой и мохово-лишайниковой растительности
5-10	1458	Разрушение и смены некоторых компонентов травяной и кустарничковой растительности
10-20	954	Значительное разрушение травяной, кустарничковой и отчасти кустарниковой растительности, а также некоторое усыхание деревьев
20-30	228	Полное разрушение травяной и основной части кустарниковой растительности и значительное усыхание деревьев
30-70	484	Разрушение всех формаций растительности и всех компонентов лесных сообществ, за исключением отдельных выживших деревьев
70-100	62	Полное уничтожение растительности
Более 100	54	То же, образование устойчивой вулканической пустыни

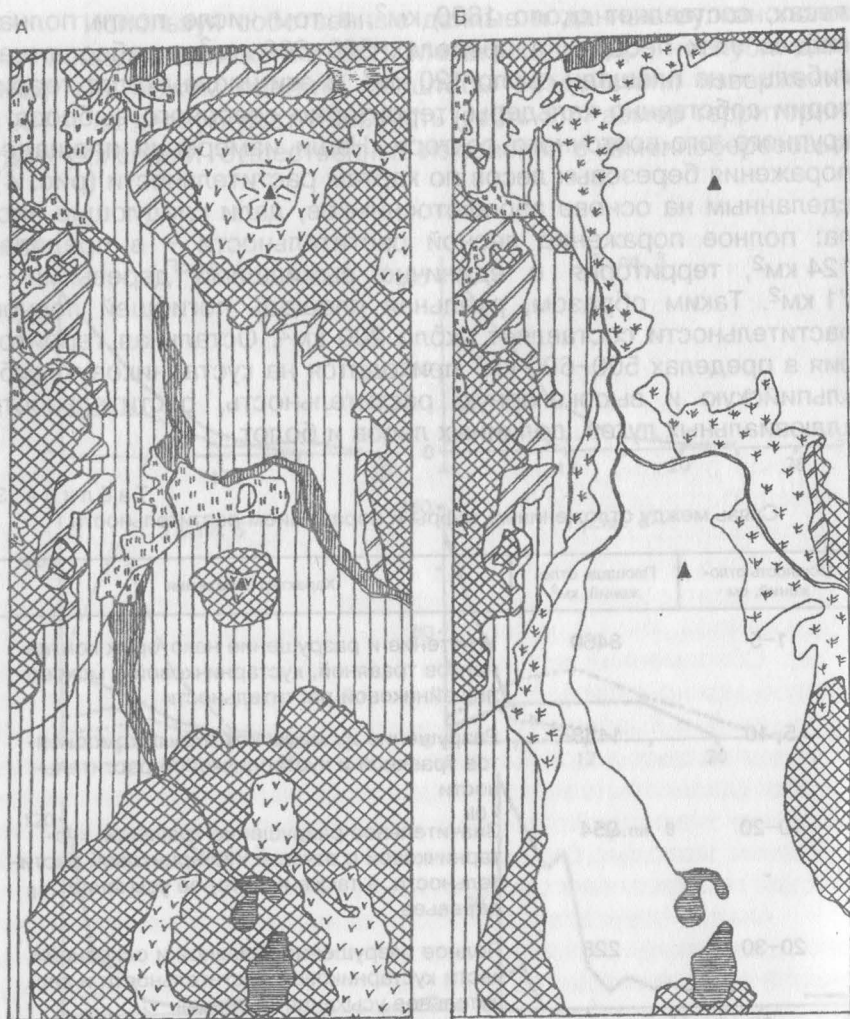
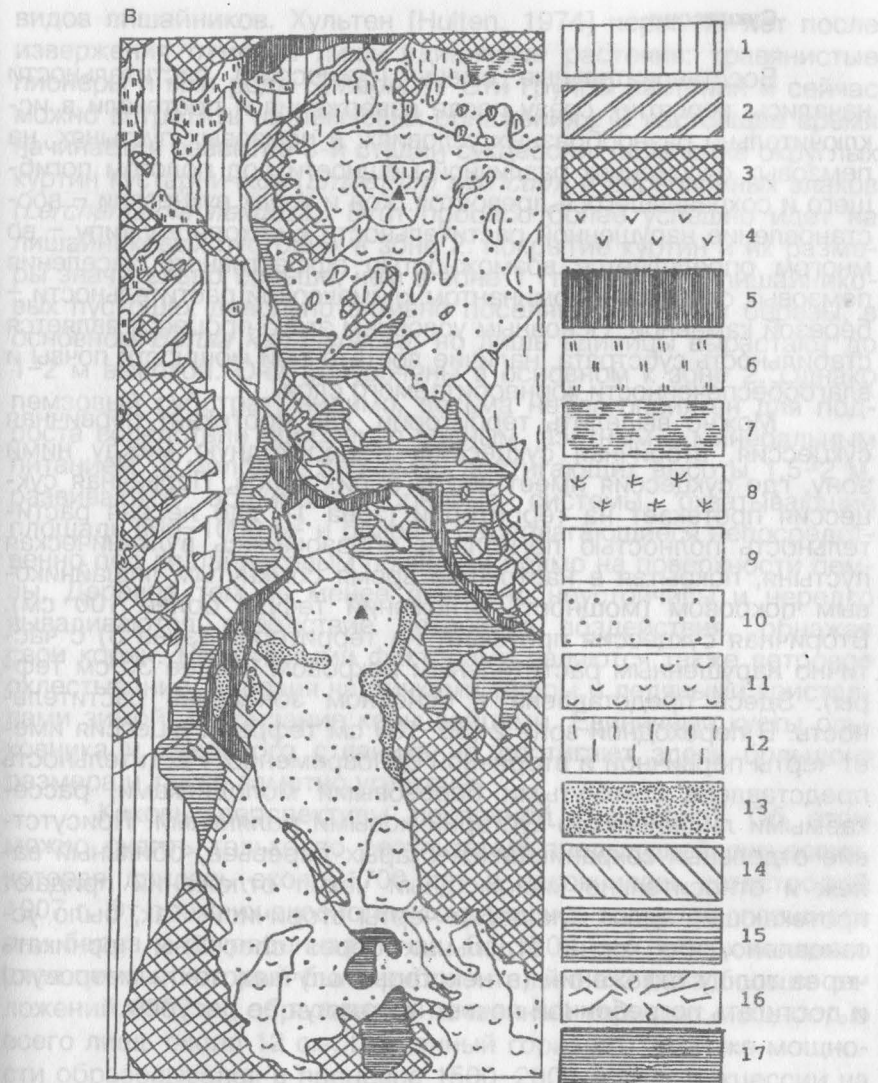


Рис. 4. Карты растительности: А – восстановленной (ситуация до 1907 г.); Б – нарушенной (ситуация первых лет после извержения); В – современной. Растительность, не подвергшаяся влиянию извержения: 1 – каменноберезовые леса, 2 – каменноберезово-ольховниковый горный комплекс, 3 – заросли ольховника, 4 – горные тундры, 5 – долинный лесной комплекс, 6 – луга и заросли кустарников (аласы), 7 – сырые вейниково-осоковые луга. Растительность, сформировавшаяся после извержения: 8 – пемзовые пустыни, 9 – пемзовые пустыни с единичными сохранившимися деревьями, 10 – пемзовые



пустыни с лишайниковым покровом, 11 – пемзовые пустыни с несомкнутым покровом из горно-тундровых растений, 12 – горные луга в комплексе с куртинами ольховника, 13 – пемзовые пустыни с лишайниковым покровом и с единичными молодыми деревьями, 14 – редины каменной березы с шикшево-лишайниковым покровом, 15 – сомкнутые молодые березняки с единичными деревьями, выжившими после извержения, 16 – нивальный пояс, 17 – озера

Восстановительные смены (сукцессии) растительности начались, вероятно, сразу после извержения и протекали в исключительно разнообразных условиях: в пемзовых пустынях, на пемзовых отложениях различной мощности под пологом погибшего и сохранившегося древостоя. Ход и успех сукцессии – восстановление нарушенной растительности к исходному типу – во многом определяется возможностью эффективного заселения пемзовых отложений доминантом климаксовой растительности – березой каменной. Основным условием этого процесса является стабильность субстрата, наличие достаточной мощности почвы и влагообеспеченности корнеобитаемого слоя.

Можно выделить территории, где протекает первичная сукцессия, вторичная сукцессия, и переходную между ними зону, где сукцессия имеет черты обоих типов. Первичная сукцессия протекает на территории (зона 1), где лесная растительность полностью погибла и образовалась вулканическая пустыня, покрытая в настоящее время сомкнутым лишайниковым покровом (мощность отложений тефры более 100 см). Вторичная сукцессия протекает на территории (зона 3) с частично нарушенным растительным покровом (менее 30 см тефры). Здесь представлена в основном зональная растительность. В переходной зоне 2 (30–100 см тефры) сукцессия имеет черты первичной и вторичной одновременно. Растительность представлена сомкнутыми березовыми молодняками, рассекаемыми лишайниково-кустарничковыми полянками. Присутствие отдельных сохранившихся старых деревьев, обильный валяж и относительно маломощный чехол отложений придают протекающей здесь сукцессии черты вторичной. Так, было установлено, что корни отдельных берез способны проникать через толщу отложений (в некоторых случаях почти метровую) и достигать погребенной почвы, используя ее ресурсы.

Первичная сукцессия

Спустя 87 лет после извержения в зоне 1 наблюдается сомкнутый лишайниковый покров, в котором отмечено до 50

видов лишайников. Хультен [Hulten, 1974] через 15 лет после извержения отмечал лишь единичные растения: травянистые пионеры и мхи рода *Sphagnum*. Эти группы растений и сейчас можно встретить на пемзовых обнажениях. В настоящее время начинается развитие 3-й стадии сукцессии: появление округлых куртин кустарничков (*Empetrum sibiricum*) и дерновинных злаков (*Lerchenfeldia flexuosa*). Этот процесс более успешно идет на лишайниковых пустошах в зоне 2: покрытие куртин и их размеры значительно больше, чем в зоне 1 (табл. 4). На лишайниковых пустошах довольно активно поселяются сеянцы березы, в основном *Betula kamtschatica*, но лишь единицы вырастают до 1–2 м высотой. Они приурочены в основном к зоне 2. Однако пемзовый субстрат, видимо, весьма неблагоприятен для подраста вследствие проблем с водным, азотным и минеральным питанием. У молодых деревьев, достигающих высоты 1,5–2 м, развиваются обширные корневые системы, охватывающие площадь 500–1000 м² и более и располагающиеся непосредственно под лишайниковым покровом прямо на поверхности пемзы. Деревца тем не менее довольно неустойчивы и нередко вываливаются вследствие ветрового воздействия, обнажая свои корни. Негативными факторами являются также ветровое охлестывание, абразия частичками тефры и ледяными кристаллами зимой, обгрызание коры зайцами. Единичные кусты ольховника и кедрового стланика не достигают здесь большого размера и также заметно угнетены.

Каковы перспективы первичной сукцессии? Об этом можно судить только по результатам предыдущей сукцессии, которая длилась около 1700 лет и закончилась катастрофой 1907 г. От прежних экосистем сохранились только распавшиеся пни берез и погребенная почва. За 1700 лет поверх мощного слоя пемзы, который был приблизительно в 2 раза больше отложений 1907 г., образовался почвенный горизонт мощностью всего лишь около 12 см. Почвенный горизонт такой же мощности образовывался в процессе 1500–2000-летней сукцессии на аа-лаве влк. Толбачик (центральная Камчатка) [Гришин, 1992] под субклимаксовым каменноберезовым лесом. Лесная растительность сформировалась за 1700 лет и в районе Ксудача. Так, на пр. пл. 1 было отмечено 17 пней на участке размером 0,2 га.

Таблица 4

Состав видов нижних ярусов лесных сообществ на геоботаническом профиле

Вид	Обилие (Braun-Blanquet)/встречаемость, %, на пробных площадях							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Кустарниковый ярус, проективное покрытие								
<i>Duschekia kamtschatica</i> (Regel) Pouzar	5	5	30	40	15	10	10	40
<i>Lonicera chamissoi</i> Bunge ex P. Kir.				2/			4/50	
<i>Lonicera caerulea</i> L.	+/3	+/	+/40		+/17	+/27	+/17	+/
<i>Pinus pumila</i> (Pall.) Regel	+/7	+/	+/7		+/3	+/7		
<i>Rhododendron aureum</i> Georg			+/3					
<i>Rosa amblyotis</i> C.A.Mey.				+/			+/	+/
<i>Salix arctica</i> Pall.					+/3			
<i>Salix udensis</i> Trautv. et Mey.	r/3	r/						
<i>Sorbus sambucifolia</i> (Cham. et Schlecht.) M. Roem.			+/3		+/3		+/3	1/
<i>Spiraea beauverdiana</i> Schneid.		+/	+/7	+/	+20		+/3	
Травяной ярус, проективное покрытие	20	20	70	60	40	50	90	100
<i>Anaphalis margaritacea</i> (L.) A. Gray			+/10					
<i>Anemone debilis</i> (Turcz.) Holub					r/3			
<i>Artemisia opulenta</i> Pamp.				+/			+/	1/43
<i>Athyrium filix-femina</i> (L.) Roth s.l.								r/3
<i>Calamagrostis purpurascens</i> R. Br.				1/	+/23	1/80	2/97	2/100
<i>Cardaminopsis lyrata</i> (L.) Hiit.						+/13		
<i>Carex longirostrata</i> C.A.Mey.		+/		+/			r/	
<i>Chamerion angustifolium</i> (L.) Holub	+/10		+/33	1/	+/37	1/70	2/87	+/37
<i>Cimicifuga simplex</i> (Wormsk. ex DG.)							+/	3/70

Продолжение табл. 4

Вид	Обилие (Braun-Blanquet)/встречаемость, %, на пробных площадях							
	1	2	3	4	5	6	7	8
<i>Cirsium kamtschaticum</i> Ledeb.								r/3
<i>Corallorhiza trifida</i> Chtel.								r/3
<i>Diphasiastrum complanatum</i> (L.) Holub		+/	1/27		+/3	+/10	+/10	
<i>Dryopteris expansa</i> (C. Presl.) Fraser-Jenkins et Jermy			r/3			+/3		
<i>Empetrum sibiricum</i> V. Vassil.	+/17	+/	1/23	2/	1/43	r/3		
<i>Filipendula kamtschatica</i> (Pall.) Maxim								+/10
<i>Galium kamtschaticum</i> Stell. ex Schult.						+/20	1/63	1/47
<i>Gymnocarpium dryopteris</i> (L.) Newm.		+/		+/	+/10			+/13
<i>Geranium flexuosum</i> (L.) Schur	1/43	2/	2/100	+/	2/100	1/80	+/37	
<i>Listera cordata</i> (L.) R. Br.						+/7		
<i>Lycopodium annotinum</i> L.						+/37	+/3	+/13
<i>Lycopodium clavatum</i> L.		+/	+/23			+/30	+/17	1/60
<i>Luzula parviflora</i> (Ehrh.) Desv.		1/40						
<i>Luzula plumosa</i> E. Mey.								r/
<i>Maianthemum dilatatum</i> (Wood) Nels.		1/		2/				1/27
<i>Moehringia lateriflora</i> (L.) Fenzl.		+/	+/20	+/		+/50	+/50	+/7
<i>Neottia asiatica</i> Ohwi			r/3					
<i>Pedicularis resupinata</i> L.						+/3		
<i>Picris kamtschatica</i> Ledeb.								r/
<i>Poa platyantha</i> Kom.			+/10					
<i>Pyrola minor</i> L.	+/13	+/	+/7	+/		+/13		
<i>Rubus arcticus</i> L.			+/13					+/
<i>Sanguisorba tenuifolia</i> Fisch. ex Link				+/		+/7	+/27	

Вид	Обилие (Braun-Blanquet)/встречаемость, %, на пробных площадях							
	1	2	3	4	5	6	7	8
<i>Senecio cannabinifolius</i> Less.							+/	2/67
<i>Solidago spiraeifolia</i> Fisch. ex Herd.			+/3	+/	+/13			
<i>Stellaria fenzi</i> Regel		+/	+/3	+/	r/3	+/10	+/7	
<i>Streptopus amplexifolius</i> (L.) DC							r/	r/3
<i>Thalictrum minus</i> L.							+/	1/43
<i>Trientalis europaea</i> L.		+/	+/3	1/	+/13	1/67	3/100	1/80
<i>Trillium camschatcense</i> Ker-Gawl.								+/17
<i>Trisetum sibiricum</i> Rupr. s.l.						+/10	+/20	
<i>Vaccinium uliginosum</i> L.	+/7				+/23	+/3		
<i>Veratrum oxyssepalum</i> Turcz.							r/	+/20
<i>Viola biflora</i> L.							r/	
Ярус мхов и лишайников, проективное покрытие	80	80	10	30	2	40	1	0
<i>Cetraria islandica</i> (L.) Ach.	+/7							
<i>Cladina portentosa</i> (Duf.) Follm.	+/10	+/				+/23		
<i>Cladina stellaris</i> (Opiz.) Brodo	2/73	+/	1/73					
<i>Cladina rangiferina</i> (L.) Nyl.	1/63	1/		1/		+/17		
<i>Cladonia cepvicornis</i> (Ach.) Flot.	1/53							
<i>Cladonia digitata</i> (L.) Hoffm.	+/10	1/			+/27	+/17		
<i>Cladonia ectocyna</i> Leight.	+/20		+/50		+/30	+/30		
<i>Cladonia gracilliformis</i> Zahlbr.	+/7					r/3		
<i>Dicranum bergeri</i> Blant. in Starke			+/27		+/27	+/13		
<i>Peltigera canina</i> (L.) Willd.						+/3		
<i>Polytrichum juniperinum</i> Hedw.	1/57		+/47		+/57	+/50	+/10	
<i>Sanionia uncinata</i> (Hedw.) Loeske			+/3		1/67	+/27	r/3	

Однако малая мощность почвы дает основания полагать, что процесс развития экосистемы к климаксовому состоянию растительности еще не закончен. Отсюда можно сделать вывод о крайне медленной скорости течения сукцессии. Причиной этому является, видимо, весьма неблагоприятный субстрат – абсолютно водопроницаемый, не вполне стабильный и, возможно, химически агрессивный для растений. Этот субстрат, возможно, более неблагоприятен, чем аа-лава.

Если начальные и в некоторой степени конечные стадии первичной сукцессии известны, основной период ее течения (около 1500 лет) может основываться только на предположениях. Определенные аналогии можно провести с упомянутой сукцессией на лавах Толбачика. Предположительно, в основном периоде сукцессии в течение первых столетий произошло формирование сомкнутой ксеромезофитной кустарничково-травянистой растительности с участием кустарников, типа описанных Хультенем [Hulten, 1974] лугов на аллювиальных террасах. Кедровый стланик, образующий сплошной покров в ходе сукцессии на Толбачике, занимает подчиненное место в растительном покрове в районе Ксудаца (как и в целом на восточной Камчатке) и заметно угнетен. В течение всего этого периода оба вида березы постоянно пытаются поселиться и закрепиться в растительном покрове. Поначалу это удается им очень плохо – вследствие проблем с водным и минеральным питанием из-за маломощного почвенного горизонта, прирост их замедлен, и не достигнув нормальных размеров, они усыхают, исчерпав жизнеспособность своих местообитаний.

Эту картину можно отчасти наблюдать и сейчас в зоне 2: молодые 50-летние березки, выросшие на пемзе 1907 г., страдают от нехватки питания (несмотря на то что используют частично ресурсы погребенного почвенного горизонта), демонстрируя усыхающие ветви и кроны.

Однако в ходе продолжительного, видимо не менее 1000-летнего, периода такого развития, постепенно формируется приемлемый для роста деревьев почвенный профиль. Постепенно увеличиваются продолжительность жизни, размеры и количество деревьев. Начинается последний этап – формирование лесных сообществ. В самом его начале, со смыканием древостоя, *Betula kamtschatica* вытесняется *B. ermanii*.

Для становления климаксовых лесных сообществ – с разновозрастным древостоем, развитой ярусной и синузальной структурой, полночленным флористическим составом и соответственно развитым почвенным компонентом экосистемы – требуется, вероятно, несколько столетий сукцессии. Таким образом, общая продолжительность сукцессии может быть оценена периодом около 2000 лет. Возможно, граница между зонами 1 и 2 будет постепенно смещена к оси отложений пемзы в связи с наступлением на пустыню вновь поселяющихся березок, которые будут еще в состоянии достигать корнями погребенной почвы. По мере увеличения мощности пемзы темп этого наступления будет все более замедляться, пока не прекратится. Вполне вероятно, что этот процесс уже подходит к концу.

Сукцессии в переходной зоне

Сукцессия в зоне 2 исследована на пр. пл. 1–6 профиля 1. Они заложены в молодняках березы. Пр. пл. 1–3 заложены в близких условиях равнины мощных пирокластических отложений, пр. пл. 4 – в долине реки, в условиях частичного смыва и переотложений пемзы и перекрытия ее аллювием. Состав растительности здесь отражает условия микрорельефа: на нескольких приподнятых (до 0,5 м) и потому стабильных участках сформировались молодняки березы каменной с лесными видами в нижнем ярусе, а на пониженных участках преобладают древесные и кустарниковые ивы (*Salix udensis*, *S. caprea*, *S. arctica*, *S. pulchra*) и береза белая, а в нижнем несомкнутом ярусе – куртины шикши, щучки, иван-чая. Пр. пл. 5 заложена на краю старого (возраст, вероятно, около 1500 лет) лавового потока, и пр. пл. 6 – на склоне, на лавовом покрове, перекрытом делювием. Здесь, в отличие от пр. пл. 3–5, довольно много обнажений пемзы, покрывающих до 30% площади, что связано со склоновыми процессами.

Мы анализировали изменение параметров растительных сообществ и почв по градиенту мощности отложений на профиле. Специфику почвообразования в ряду от лишайниковых пустошей и березовых несомкнутых молодняков до климаксо-

вых высокотравных каменноберезняков иллюстрируют описания четырех почвенных разрезов (рис. 2). При максимальной мощности пемзового слоя (95 см) под березовыми редколесьями отмечены признаки примитивного почвообразования: фрагменты подстилки и лишайниковый очес сменяется переходным (A_1B) иллювиально-гумусовым горизонтом в виде небольшой примеси буроватого мелкозема, залегающего в пустотах между обломками пемзы, рассеяно присутствуют корни березы. Ниже залегает рыхлый слой пемзы, не затронутый почвообразованием. Тем не менее корни берез белой и каменной в этих условиях способны пронизывать всю толщу рыхлых отложений и встречаются в погребенном гумусовом горизонте. Данная ситуация прослеживается в разрезах и прикопках на большом протяжении профиля без существенных качественных изменений на фоне плавного уменьшения мощности пемзовых отложений.

Качественные изменения морфологических признаков в почвенном профиле появляются на расстоянии около 5 км от оси пеплопада. Мощность слоя пемзы уменьшается до 30 см (рис. 2). В составе растительных сообществ этот переход индицируется присутствием в древостое перестойных деревьев березы каменной, переживших извержение, а также резким возрастанием видового разнообразия в травяном ярусе. В почвенном профиле отмечено появление оформившегося слоя подстилки (A_0) мощностью 2 см, маломощного гумусового горизонта (A_1) мощностью 3 см. Иллювиально-гумусовый горизонт имеет переходный характер (A_1B) и представлен слоем рыхлой пемзы, слабо прокрашенной потеками гумуса, но уже связанной корнями.

Описываемый профиль является своего рода экотонном между вулканической пустыней (зона 1) и сохранившимся, хотя и пострадавшим, лесом (зона 3). По направлению от пустыни к лесу постепенно уменьшается доля и размеры лишайниковых пустошей среди молодняков березы. При мощности пемзы около 70 см появляются первые зрелые деревья, пережившие извержение. По профилю прослеживаются следующие наиболее характерные для молодняков тенденции: смыкание древо-

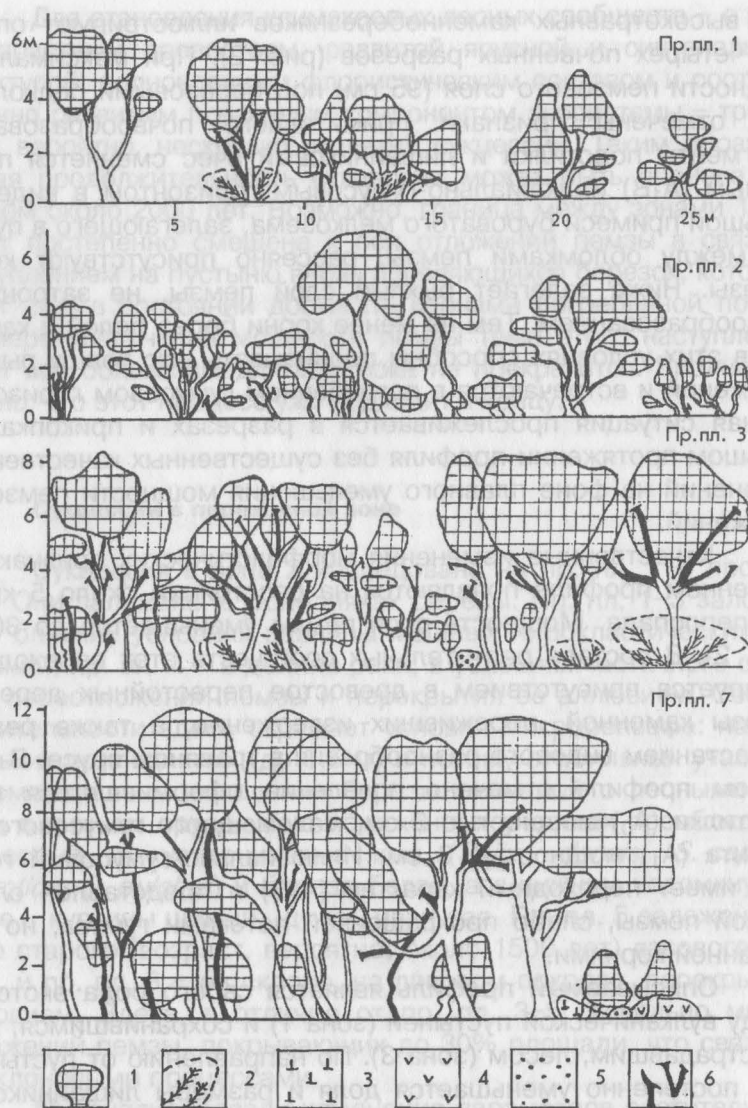


Рис. 5. Профильные диаграммы каменноберезняков на пробных площадях. 1 - береза каменная *Betula ermanii*, 2 - кедровый стланик *Pinus pumila*, 3 - шиповник тупоушковый *Rosa amblyotis*, 4 - рябина бузинолистная *Sorbus sambucifolia*, 5 - жимолость Шамиссо *Lonicera chamissoi*, 6 - сухие ветви и стволы

ствоев, увеличение средних диаметров и высот стволов и сумм площадей сечений стволов (рис. 3, 5). Со смыканием и загущением молодого леса происходит усыхание части его стволов. Первое поколение молодняка березы белой, не успев сомкнуться, сменяется березой каменной и в дальнейшем выпадает из древостоя.

В начале профиля (пр. пл.1) в напочвенном покрове каменноберезняков господствуют лишайниковые синузии (до 80% общей площади фитоценозов) (табл. 5, рис. 6). В окнах древостоя на незадерненных шлаках формируется синузия с доминированием *Stereocaulon grande*. Виды рода *Cladina* (*C. portentosa*, *C. ecmocina*, *C. digitata*, *C. stellaris*) формируют синузии на участках, расположенных вблизи групп берез или кустарников. Синузии кустарничков (шикшевая) и трав (щучковая), как правило, располагаются концентрическими кругами вокруг стволов. В загущенных группах молодняка березы накапливается подстилка.

По мере смыкания древостоя (пр. пл. 3, 4) роль лишайниковых синузий заметно снижается. Особенно резко уменьшается покрытие *Stereocaulon grande*. Появляются пятна зеле-

Таблица 5
Покровение (%) основных синузий на пробных площадях

Синузии	1	2	3	4	5	6	7	8
<i>Cladina stellaris</i> + <i>Cladina rangiferina</i> + <i>Cladonia cepvicornis</i>	80	50	10	30	—	10	1	—
<i>Empetrum sibiricum</i>	18	1	10	—	10	—	—	—
<i>Lerchenfeldia flexuosa</i>	2	41	54	25	—	50	1	—
<i>Lycopodium annotinum</i>	—	1	25	4	—	—	5	—
<i>Maianthemum dilatatum</i> + <i>Trientalis europaea</i> + <i>Rubus arcticus</i>	—	1	—	—	30	30	18	—
<i>Chamerion angustifolium</i> + <i>Calamagrostis purpurea</i>	—	—	—	2	60	10	70	20
<i>Senecio cannabifolius</i> + <i>Filipendula camtschatica</i> + <i>Calamagrostis purpurea</i>	—	—	—	—	—	—	—	80

ных мхов (*Polytrichum juniperinum*, *Sanionia uncinata*), но покрытие их остается еще невысоким. Продолжают разрастаться куртины шикши и щучки, которые остаются почти монодоминантными. Постепенно отдельные куртины смыкаются, становятся флористически более насыщенными за счет внедрения в них видов мелкотравья (*Moehringia lateriflora*, *Stellaria fenzlii*, *Trientalis europeae*, *Luzula plumosa*, *Pyrola minor*, *Rubus arcticus*) и плаунов (*Lycopodium clavatum*, *L. annotinum*, *Diphasiastrum complanatum*) (пр. пл. 3, 4). Почти все виды мелкотравья одновременно с процессом внедрения в лишайниковые, шикшевую и щучковую синузии формируют монодоминантные синузии. Размеры пятен небольшие (от 0,2–0,5 до 1–3 м). При разрастании они часто сливаются, образуя полидоминантные мелкотравные синузии (пр. пл. 3, 6).

Если на ранних стадиях формирования травяного яруса синузии пространственно резко отграничены, то на стадии смыкания древостоя установление границ между ними довольно затруднительно. Горизонтальная структура напочвенного покрова на этих стадиях формирования древостоя достаточно сложная, но его вертикальная организация до некоторой степени упрощена. Высота травостоя от 5 до 25 см, слабо дифференцирована. Площади пятен синузий определены чаще всего размерами крон деревьев и элементов микрорельефа. Пробная площадь 6 демонстрирует мелкотравно-щучковый вариант травяного яруса при сомкнутом древостое каменноберезового леса. В травяном ярусе представлены различные мелкотравные и щучковые синузии. Эколого-ценотические условия ценозов этой стадии сукцессии способствуют формированию пятен кипрейно-вейниковой синузии, которые локализуются в более или менее вогнутых элементах микрорельефа.

В ряду сообществ происходят характерные изменения в нижних ярусах: число видов и покрытие травяного яруса увеличиваются, в то время как мохово-лишайникового уменьшаются (рис. 6.).

В общем виде протекание сукцессии от момента заселения ювенильного пемзового субстрата (пемзовые пустыни) до формирования нормального лесного насаждения исходного типа может быть отражено выделением ряда характерных стадий. Развитие сукцессии представляется следующим образом.

1. Пионерная стадия. Первые годы. Поселяются единичные пионеры: *Pennelianthes frutescens*, *Poa malacantha*, *Stellaria escholziana*, *Saxifraga merckii*, *Polytrichum juniperinum* и др.

2. Стадия лишайникового покрова. Первые десятки лет – вплоть до смыкания покрова. Доминанты: *Stereocalon grande*, *S. vesuvianum* и др.

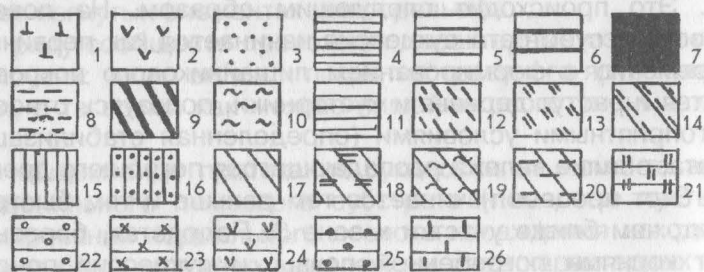
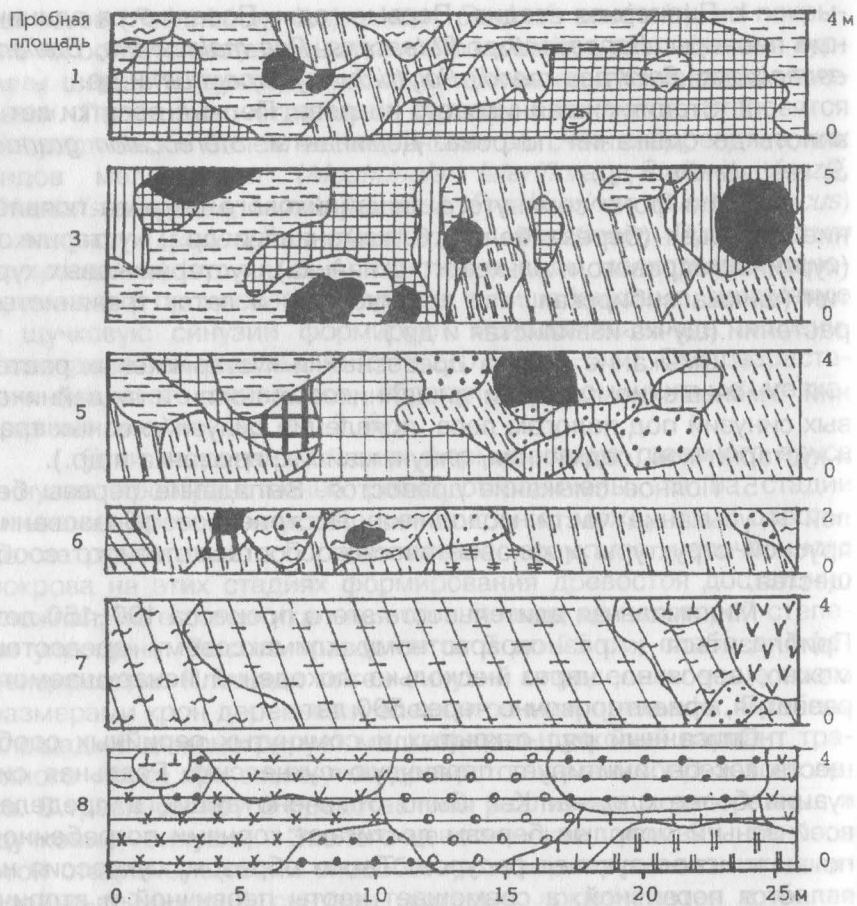
3. На фоне сомкнутого лишайникового покрова появление деревьев (береза белая, б. каменная и др.), кустарников (куртины кедрового и ольхового стланика), кустарничковых куртин (шикша сибирская, ива арктическая) и латок травянистых растений (щучка извилистая и др.).

4. Смыкание полога древесных и кустарниковых растений. Уменьшение площади лишайниковых полей и лишайниковых синузий под пологом леса, появление синузий лесных трав и кустарничков (седмичник, плаун, майник, грушанка и др.).

5. Полное смыкание древостоя. Выпадение березы белой и усыхание части молодняка. Постепенное образование ярусной структуры и флористического состава лесного сообщества.

Минимальная длительность этого процесса 100–150 лет. Приблизиться к разновозрастному климаксовому древостое можно, вероятно, через несколько поколений ненарушаемого развития, ориентировочно через 500 лет.

Описанный ряд открытых и сомкнутых серийных сообществ как бы имитирует первичную сукцессию. Реальная ситуация более сложна. Как было отмечено выше, в пределах всей зоны 2 молодые березы достигают корнями погребенной почвы и используют ее ресурсы. Таким образом, сукцессия не является первичной, а совмещает черты первичной и вторичной. Это происходит следующим образом. На поверхности пемзового субстрата сукцессия начинается как первичная. Одновременно с формированием лишайникового покрова поселяются и растут деревья и кустарники, пользуясь относительно благоприятными условиями (определенная стабилизация субстрата, обилие валежа распадающегося погибшего древостоя и др.) Этот процесс начинается тем раньше и тем быстрее проходит, чем ближе участки к зоне 3. Подрастая, березы достигают корнями погребенной почвы, и сукцессия приобретает смешанные черты. Древостой получает возможность ускоренно



развиваться, что влияет и на развитие нижних ярусов сообществ (нарастание органогенного горизонта в виде подстилки и начинающей формироваться примитивной почвы, более стабильный режим влажности корнеобитаемого слоя субстрата, менее жесткий ветровой режим, дополнительная стабилизация субстрата и т.д.). Однако такой характер сукцессии приобретает только на участках, где мощность пемзы не превышает критическое для проникновения корней значение. Большую роль, видимо, играют условия аккумуляции и сохранения органики (опад, валеж, древесный мусор, мелкозем и др.) и, главное, влаги (например, в виде снега, сохраняющегося до середины лета). В условиях неоднородного мезорельефа, с перепадом высот до нескольких метров, даже на вулканической равнине наблюдается значительная пестрота и чередование благоприятных и неблагоприятных для поселения деревьев участков. На последних сукцессия идет как первичная.

Перспективы сукцессии в зоне 2 связаны с развитием молодняка березы и превращением его зарослей в зрелый лес. По мере роста деревьев будет происходить угнетение, усыхание и отпад части древостоя. Через несколько поколений древостоя (видимо, не менее 400–500 лет) сформируется разновозрастной климаксовый лес. Формирующийся лес будет оказывать влияние и на участки лишайниковых пустошей, где протекает первичная сукцессия – через опушечный эффект и постоянное подселение лесных видов растений. Сукцессия

Рис. 6. Синусиальная структура напочвенного покрова каменноберезняков на разных стадиях сукцессии. Синусии: 1 – шиповниковая (*Rosa amblyotis*), 2 – рябиновая (*Sorbus sambucifolia*), 3 – жимолостевая (*Lonicera chamissoi*, *L. coerulea*), 4 – лишайниковые, 5 – мохово-лишайниковая, 6 – зеленомошная, 7 – мертвопокровная, 8 – шикшевая (*Empetrum nigrum*), 9 – подмаренниковая (*Galium kamschaticum*), 10 – седмичниковая (*Trientalis europaea*), 11 – мелко-травная, 12 – щучковая (*Lerchenfeldia flexuosa*), 13 – щучково-ожиковая (*Luzula plumosa*), 14 – мелкотравно-щучковая, 15 – плауновкая (*Lycopodium clavatum*, *L. annotinum*, *Diphasiastrum complanatum*), 16 – щучково-плауновкая, 17 – вейниковая (*Calamagrostis purpurascens*), 18 – мелкотравно-вейниковая, 19 – седмичниково-вейниковая, 20 – майниково-вейниковая (*Maianthemum dilatatum*); высокотравная: 21 – клопогоновая (*Cimicifuga simplex*), 22 – лабазниковая (*Filipendula palmata*), 23 – крестовниковая (*Senecio cannabifolius*), 24 – чемерицевая (*Veratrum oxyssepalum*), 25 – полыново-высокотравная (*Artemisia opulenta*), 26 – вейниково-высокотравная

здесь скорее всего будет идти так же, как и в зоне 1, но более ускоренно, причем тем быстрее, чем больше соотношение площадей в пользу лесных сообществ. Не исключено тем не менее, что, как и в зоне 1, участки с особо мощной аккумуляцией пемзы останутся перманентно безлесными, вероятно, в стадии ксеромезофитных лугов, которых довольно много к северу от Ксудача (может статься, что это наследие предыдущей сукцессии).

Вторичные сукцессии

Зона 3 отделена от зоны 2 в районе профиля довольно резко, но реально граница между ними является мозаичной, представляя собой чередование участков молодняков и сохранившегося леса. Это связано, вероятно, с неоднородностью мезорельефа, определившего переотложение и аккумуляцию пемзы в первые годы после извержения и дифференцирующего затем почвенно-гидрологические условия.

Вторичные сукцессии описаны на пр. пл. 7 и 8. Оба участка находятся на пологом склоне, сформированном древними лавовыми потоками и перекрытом почвенно-пирокластическим чехлом. Пр. пл. 7 располагается на ровной площадке, а пр. пл. 8 – на склоне, перекрытом также и пролювиальными отложениями. В результате частичного разрушения и гибели древостоя и нижних ярусов произошли определенные изменения в сообществах. Они несколько затушеваны происходящей почти 90 лет сукцессией, но ряд характерных моментов может быть восстановлен. Так, на пр. пл. 7 в старом каменноберезняке образовался молодой господствующий ярус из березы каменной. Диаметры стволов молодняка 4–16 см, присутствует большое количество подроста. Из-за распада древостоя образовались крупные прогалины. На пр. пл. 8 старый древостой также частично распался. С ним соседствуют участки леса, состоящего только из молодняка. Возможно, они образовались на месте погибших ольховников или, что более вероятно, на месте субальпийских луговин, входящих в комплекс растительности у

верхней границы леса. Гибель этих сообществ позволила поселиться березе, которая с успехом использует сейчас ресурсы погребенной, но легкодоступной почвы. Именно поэтому в данных условиях формируется сложный полигенетический профиль слоисто-охристых вулканических почв, сочетающих в верхней (современной) части следы примитивного почвообразования с признаками зонального иллювиально-гумусового процесса.

На стадиях, приближенных к климаксовому состоянию древостоя, синузидальная структура травяного яруса значительно упрощается, уменьшается число выраженных синузид, но структура их и флористическая насыщенность значительно усложняются.

На пр. пл. 7 господствует (до 70% покрытия) мелкотравно-вейниковая с элементами разнотравья синузид. Она представляет собой достаточно сложную структурную часть фитоценоза, состоящую из двух отчетливо отграниченных подъярусов: мелкотравного (высота 10–25 см) и вейникового (высота 75–90 см). Отдельные пятна синузиды разнятся доминированием видов мелкотравья (майника, княженики, седмичника).

На пр. пл. 8 травяной ярус представлен высокотравной синузидой, образованной растениями высотой до 1,5 м. Близкий подток грунтовых вод способствует разрастанию видов крупнотравья (*Senecio cannabinifolius*, *Filipendula camtschatica*, *Cimicifuga simplex*, *Veratrum oxysepalum*, *Cirsium kamtschaticum*) и разнотравья (*Artemisia opulenta*, *Thalictrum minus*, *Chamerion angustifolium*). Будучи корневищными, вегетативно подвижными формами, некоторые из них образуют клоны и часто формируют монодоминантные участки высокотравной синузиды.

Судя по динамике прироста по диаметру стволов березы, равной в среднем около 3 мм в год, можно оценить время, необходимое для восстановления нормальной возрастной структуры древостоя, соответствующей разновозрастному лесу без выпадения каких-либо поколений древостоя. Этот период равен 50–70 годам. Определенные изменения произойдут и в нижних ярусах сообществ, хотя, видимо, они еще долго могут наследовать некоторые черты состава и структуры серийных группировок.

Анализ изменения растительного покрова по картам растительности

Исходя из изложенных выше закономерностей демулационного процесса и с учетом замечаний Э. Хультена и В.Л. Комарова на основе аэрофотоснимков масштаба 1:25000 составлена серия карт восстановленной и современной растительности, отражающих ключевые моменты изменения растительности после извержения влк. Ксудач (рис. 4).

С использованием ботанико-географических данных и данных по не затронутым извержением территориям была восстановлена растительность зоны поражения (рис. 4,А). На карте различаются пояса зональной растительности: каменноберезовых лесов, ольховых стлаников, узкий экотон между ними, пояс горных тундр, нивальный пояс. Азональная растительность представлена тополево-ивовыми лесами в долинах рек и травяно-кустарниковой растительностью (аласами) на плоских участках рельефа, часть из которых заболочена и покрыта сырыми лугами.

После выпадения тефры развитие растительной ситуации шло по следующему сценарию. Горные тундры, аласы, сырые луга и придавленные снегом заросли ольхового стланика были полностью покрыты пемзовым чехлом. Древесная растительность (в основном взрослые деревья), поврежденная выпадением пемзы мощностью до 1 м, оставалась частично жизнеспособной и продолжала вегетировать в течение 5–10 лет после извержения. Через 15 лет после извержения Э. Хультен [Хультен, 1925] фиксировал уже мертвый древостой на территории от кальдеры до р. Западная Ходутка. Ситуация этого периода отражена на карте (рис. 4,Б). Большое место занимали пемзовые пустыни. На основе анализа современной ситуации выделен контур, где взрослые экземпляры каменной березы, пережив извержение, продолжали вегетировать при мощности пемзовых отложений до 70 см. На этой карте можно определить границу частично поврежденного и почти полностью разрушенного древостоя, которая примерно соответствует изопакхите 30 см и является рубежом, по одну сторону от которого протекают только вторичные сукцессии в виде коротковосстановительных смен, а по другую – как вторичные, так и первичные.

Анализ современной растительной ситуации (рис. 4,В) позволяет выявить еще 2 важные границы, обусловленные уже различиями в скорости сукцессий на участках, в разной степени перекрытых пемзой. Это граница между сомкнутыми молодыми насаждениями и редколесьями каменной березы и граница между последними и лишайниковой пустыней, на которой развитие древостоя либо еще не происходит, либо находится в начальной стадии. Там, где этот процесс происходит наиболее эффективно, в настоящее время отмечаются единичные деревья 20–30-летнего возраста с развитой кроной, что отражено на карте специальным контуром, занимающим промежуточное положение между редколесьями и пустыней. Особо успешно демулационные процессы протекают в долинах рек, где ивняки в комплексе с другой долинной растительностью восстановились практически полностью.

Растительность, формирующаяся после извержения, очевидно, имеет ряд различий с первичной главным образом за счет изменения свойств почвы и закономерностей почвообразования на пемзовом субстрате. В связи с этим наблюдается процесс надвигания лесной растительности на территории, ранее занятые аласами, а также изменение отношений лесного и стланикового поясов, чаще в пользу последнего.

Заключение

Одно из крупнейших извержений XX в. на Камчатке нанесло катастрофический урон лесной растительности: на площади около 600 км² она полностью погибла и на площади около 1800 км² была в существенной степени разрушена. "Летальным" для господствующих здесь каменноберезняков стал уровень мощности отложившейся пемзы более 30 см; при мощности отложений более 100 см возникла вулканическая пустыня.

Главными факторами поражения явились: бомбардировка крупными (до 10 см в поперечнике и, возможно, большими) кусками пемзы, что вызвало облом кроны и повреждение коры деревьев; изменение эдафических условий вследствие отложе-

ния пирокластики значительной мощности (от нескольких сантиметров до нескольких метров).

После извержения образовалась эксцентрическая структура поражения лесной растительности соответственно мощности отложений и размерам кусков пемзы. Мы выделили 3 зоны поражения. В зоне 1 (более 100 см отложений) растительность погибла полностью и почти сразу. Здесь образовалась вулканическая пустыня и началась первичная сукцессия. Зона 2 (100–30 см отложений) представляет собой переход от вулканической пустыни до частично погибшего леса. При отложениях менее 70 см здесь сохранились единичные выжившие деревья. Протекающие сейчас в зоне 2 сукцессии носят сложный характер и являются: 1) первичными на мощных отложениях пемзы, 2) имеют черты первичных и вторичных одновременно. В зоне 3 (менее 30 см мелкой пемзы) леса в основном уцелели, и здесь начались вторичные сукцессии.

Основными стадиями первичной сукцессии являются следующие: 1) поселение травянистых и мохообразных пионеров (первые годы); 2) образование лишайникового ковра (первые десятилетия); 3) образование куртин кустарничков и дерновинных злаков и их постепенное смыкание (первые столетия); 4) образование ксеромезофитных травяно-кустарничковых лугов с участием кустарников; 5) внедрение в состав лугов деревьев (оба вида березы), постепенное увеличение размеров и продолжительности жизни деревьев, смыкание древесного яруса; 6) развитие структуры и состава климаксовых лесных сообществ. На ряде участков сукцессия, по-видимому, останавливается на стадии 4 – ксеромезофитных лугов. Это равнины и локальные понижения, где складывается комплекс неблагоприятных климатических и эдафических факторов.

Первичная сукцессия в переходной зоне 2 протекает, по-видимому, тем быстрее, чем ближе участки к зоне 3, т.е. чем больше вокруг них лесное окружение – как сохранившегося леса, так и формирующихся молодняков. Смешанная сукцессия в зоне 2 начинается почти как первичная, но через несколько десятилетий поселившиеся березы достигают корнями погребенной почвы и используют ее ресурсы, что является признаком вторичной сукцессии. Начинаясь после этого ускоренно развиваться древостой оказывает сильное влияние на процессы в подчиненных ярусах.

Вторичная сукцессия протекает в виде восстановления в составе древостоя поколения погибших в результате извержения деревьев, зарастания прогалин, восстановления флористического состава и структуры климаксовых сообществ.

Длительность первичной сукцессии в вулканической пустыне может быть оценена периодом 1500–2000 лет, смешанной сукцессии в зоне 2 – 500 лет, вторичной сукцессии – около 100–150 лет.

Основываясь на полученных результатах, можно реконструировать по изопахитам [Bursik et al., 1993] воздействие на растительность крупнейшего в нашей эре вулканического извержения на Камчатке (Ксудач, 1700–1800 лет назад), которое было сопоставимо по типу и параметрам со знаменитым извержением Кракатау в 1883 г. Отложения пемзы, выброшенные почти в том же направлении, что и в 1907 г., образовали вулканическую пустыню на протяжении более 30 км, вплоть до влк. Ходутка; полностью разрушили лесную растительность на расстоянии не менее 70–80 км и в той или иной степени – до широты г. Петропавловска-Камчатского (160 км от Ксудача).

Воздействие на травяную, кустарничковую, мохово-лишайниковую растительность произошло, по-видимому, на несколько сотен километров к северу, до района центральной Камчатки.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант 93-05-14540).

Названия растений приводятся по сводке "Сосудистые..." (1985–1993), по сводке С.К. Черепанова [1981] и по определителю А.Г. Микулина [1990].

Авторы выражают признательность коллегам: вулканологам О.А. Брайцевой, И.В. Мелекесцеву, В.Ю. Кирьянову, В.В. Пономаревой за консультации, ботаникам А.Г. Микулину, В.Я. Черданцевой и В.В. Якубову за определения лишайников, мхов и некоторых сосудистых растений.

Литература

- Апродов В.А.* Вулканы. М.: Мысль, 1982. 367 с.
- Брайцева О.А., Мелекесцев И.В., Пономарев В.В., Кирьянов В.Ю.* Последнее кальдерообразующее извержение на Камчатке (вулкан Ксудач) 1700–1800 ¹⁴C-лет назад // Вулканология и сейсмология. 1995. № 2. С. 30–49.
- Влодавец В.И., Пийп Б.И.* Каталог действующих вулканов Камчатки // Бюл. вулканол. ст. 1957. № 25. С. 5–95.
- Гришин С.Ю.* Сукцессии подгольцовой растительности на лавовых потоках Толбачинского Дола // Бот. журн. 1992. Т. 77, № 1. С. 92–100.
- Гришин С.Ю., Якубов В.В., Крестов П.В., дел. Морал Р.* О восстановлении растительности в районе катастрофического извержения вулкана Ксудач // Бот. журн. (в печати).
- Гультен Э.* Некоторые географические заметки к карте Южной Камчатки // Изв. Геогр. о-ва. 1925. № 7. С. 33–52.
- Дубик Ю.М., Меньяйлов Н.А.* Газогидротермальная деятельность кальдеры Ксудач // Бюл. вулканол. ст. 1971. № 47. С. 40–43.
- Камчатка, Курильские и Командорские острова. М.: Наука, 1974. 440 с.
- Комаров В.Л.* Путешествие по Камчатке в 1908–1909 гг. // Камчатская экспедиция Ф.П. Рябушинского, снаряженная при содействии Императорского Русского географического общества. Ботан. отд. М., 1912. Вып. 1. С. 1–456.
- Комаров В.Л.* Ботанический очерк Камчатки // Камчатский сборник. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1940. Вып. 1. С. 5–52.
- Конради С.А., Келль Н.Г.* Геологический отдел Камчатской экспедиции 1908–1911 гг. // Изв. Геогр. о-ва. 1925. № 1. С. 3–32.
- Мелекесцев И.В., Сулержицкий Л.Д.* Вулкан Ксудач (Камчатка) за последние 10 тыс. лет // Вулканология и сейсмология. 1987. № 4. С. 28–39.
- Микулин А.Г.* Определитель лишайников полуострова Камчатка. Владивосток: ДВО АН СССР, 1990. 128 с.
- Морозов А.И.* Кальдера-вулкан Ксудач // Природа. 1948. № 10. С. 62–64.
- Сосудистые растения советского Дальнего Востока. Л.: Наука, 1985–1993. Т. 1–6.
- Справочник по климату СССР. Л., 1966. Вып. 27. Камчатская обл. Ч. 2. 184 с.; 1968. Ч. 4. 211 с.
- Черепанов С.К.* Сосудистые растения СССР. Л.: Наука, 1981. 510 с.
- Bursik M., Melekestsev I.V., Braitseva O.A.* Most recent fall deposits of Ksudach volcano, Kamchatka, Russia // Geophys. Res. Letters. 1993. Vol. 20, No. 17. P. 1815–1818.
- Grishin S.Yu., Moral del R., Krestov P.V., Verkholat V.P.* Succession following the catastrophic eruption of Ksudach volcano (Kamchatka, 1907) // Vegetatio. 1996. Vol. 127, No. 2. P. 129–153.
- Hulten E.* The plant cover of southern Kamchatka // Arc. bot. 1974. Vol. 7, No. 2–3. P. 181–257.