

ВЛИЯНИЕ АЭРАЛЬНОЙ ПИРОКЛАСТИКИ НА РАСТИТЕЛЬНОСТЬ ВУЛКАНИЧЕСКИХ РАЙОНОВ СОВЕТСКОГО ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА

А. Н. СИДЕЛЬНИКОВ

Биолого-почвенный институт ДВО АН СССР, Владивосток

Три четверти века прошло с тех пор, когда работами В. Л. Комарова открылся новый этап изучения флоры и растительности Камчатского полуострова.

Работая на Камчатке, В. Л. Комаров не мог не обратить внимания на специфические условия существования местной растительности. Воспоминания Владимира Леонтьевича о Камчатке были связаны «с величественной картиной вулканических конусов, с глубоким интересом к связанным с ними явлениям» [Комаров, 1912, с. 444]. Говоря об особенностях камчатской растительности, В. Л. Комаров неоднократно подчеркивал роль вулканических проявлений в формировании растительного покрова этой территории [Комаров, 1940; 1953].

Среди многообразия форм проявлений современного вулканизма наибольшие масштабы влияния на растительность присущи аэральным пеплопадам.

К сожалению, в отечественной геоботанике этому вопросу достаточного внимания еще не уделено. Поэтому характер влияния аэральных пеплопадов на растительность Камчатки и Курильских островов мы будем рассматривать на фоне исследований, проведенных различными авторами в других вулканических районах мира.

Пеплопадами сопровождаются различные типы наземных и подводных извержений вулканов, среди которых по количеству изверженной аэральной пироклаستيки первенствуют вулканический и пелейский типы извержений [Лучицкий, 1971].

Ю. И. Манько [1974, 1980] разделяет влияние современной вулканической деятельности на косвенное и непосредственное. К косвенному влиянию на растительность им отнесены такие результаты воздействия пеплопадов, как изменение климата, привнос новых минеральных частиц, начало новой фазы почвообразования, изменение химических и физических свойств среды, ускорение

или замедление схода снежного покрова и т. п. Уничтожение или повреждение растительности, погребение отдельных ярусов фитоценоза и запыление ассимиляционного аппарата растений Ю. И. Манько связывает с непосредственным влиянием пеплопадов. Результаты воздействия пеплопадов на растительность имеют широкий диапазон последствий — от катастрофических до изменяющих сезонную динамику фитоценозов, также различно и время влияния этих последствий.

Наибольшими масштабами влияния на растительность обладают косвенные результаты вулканических пеплопадов.

Изменение климата. О планетарных масштабах воздействия большого количества изверженного вулканами пепла известно давно. Е. Е. Федоров [1921] связывал ряд случаев существенного запыления атмосферы с крупными извержениями вулканов. Он отмечал, что в 1912 г. после извержения вулкана Катмай на Аляске прямая солнечная радиация в районе Ленинграда упала на 30% при одновременном увеличении рассеянной солнечной радиации. Сделанные им расчеты показали, что после крупных извержений при положении солнца, близком к горизонту, земная поверхность получает больше солнечной энергии, чем в обычное время, т. е. температура нижних слоев атмосферы в субполярных областях повышается. В это же время происходит понижение атмосферной температуры умеренной и субтропической зон. Н. Н. Калитин [1919] также допускал связь между крупными извержениями вулканов и уменьшением притока солнечной радиации, но снижение радиации в 1907 г. таким образом объяснить не сумел (ему, видимо, не было известно об извержении вулкана Ксудач на Камчатке); на климатический эффект этого извержения впоследствии указывал Э. Гультен [Hultén, 1924].

В последующие годы появилось много работ, в которых нашел отражение вопрос о влиянии вулканической деятельности на климат Земли, хотя и не получивший однозначного решения [Griggs, 1927; Брукс, 1952; Будыко, Пивоварова, 1967; Будыко, 1977; и др.]. Резкий качественный скачок подобные работы получили после извержения вулканов Сент-Хеленс (северо-запад США) в 1980 г. и Эль-Чичон (Мексика) в 1982 г.

При извержении вулкана Сент-Хеленс в стратосферу было выброшено около 5 млн. т вулканической пыли и до 0,6 млн. т аэрозольных соединений серы [Chuan et al., 1981; Gribbin, 1982; и др.]. Сравнительно небольшое количество вынесенных в стратосферу аэрозолей, которые по общепринятому в последнее время мнению в изменении температуры у поверхности земли играют исключительно важную роль, привело к понижению температуры Северного полушария на несколько сотых градуса [Burroughs, 1981]. Это совпадает с данными изучения следов прошлых вулканических извержений на ледниках Гренландии [Hammer et al., 1980]. Появились результаты исследований о переносе в воздушной оболочке Земли пепла вулкана Эль-Чичон [Robock,

Matson, 1983; Tricart, 1983; Rampino, Self, 1984a; и др.]. Кроме крупных извержений внимание специалистов привлекли и менее значительные извержения вулканов. Так, например, в эруптивном облаке вулкана Сент-Огастин (Аляска) в 1976 г. концентрация газообразной серы достигала 3 мг/м^3 [Hobbs et al., 1978]; было высказано мнение, что наряду с крупными извержениями вулканов значительный вклад в образование стратосферных аэрозолей кумулятивно вносят мало известные и плохо документированные извержения вулканов в отдельных районах [Sedlacek et al., 1981].

В целом, оценивая роль вулканизма в флуктуациях климата Земли, большинство исследователей сходятся во мнении, что после крупных извержений вулканов, являющихся источником больших количеств пепла и аэрозолей, температура у поверхности земли в течение 2—3 лет, но не более 5, понижается от $0,2\text{—}0,3^\circ \text{C}$ в низких широтах до $1,5^\circ$ в высоких [Self et al., 1981; Rampino, Self, 1984b]. Говоря о причинах похолодания, О. А. Дроздов [1983] указывает, что «...большая часть колебаний климата в историческую эпоху, а отчасти и за голоцен в целом, связанных с колебаниями полярных льдов и горных ледников Северного полушария, вызывается изменением прозрачности атмосферы вулканического характера, хотя они и осложнены автоколебаниями системы «атмосфера — океан — суша — полярные льды» (с. 32). В. Ф. Логинов [1984], оценивая изменчивость прямой солнечной радиации, прозрачности атмосферы и температуры Северного полушария в связи с извержениями вулканов, пришел к аналогичным выводам. Индикатором изменения климатической обстановки после вулканических извержений может служить величина радиального прироста деревьев. В ряде работ [Oswalt, 1957; La Marche, Hirschboeck, 1984; и др.] показано, что похолодание климата вследствие извержений вулканов часто отзывается снижением прироста деревьев по диаметру, а иногда и морозным повреждением годовых колец. Причем такие явления наблюдаются за несколько тысяч километров от источника извержения.

Привнос новых минеральных частиц. С привнесением новых минеральных частиц самым тесным образом связано изменение химических и физических свойств субстрата. Этот процесс происходит на всей площади, подверженной пеплопадам, которая для отдельных извержений может достигать 4 млн. км^2 [Луцицкий, 1971]. Существует немало сведений о дальнем переносе вулканического пепла. Одним из недавних примеров этого служит извержение вулкана Гекла (Исландия) в 1947 г. В 100 км от вулкана пепел отложился слоем в 30 см, пепловые присыпки на почве отмечались по всей Северной Европе [Bullard, 1962]. Описан также случай нахождения пепла на поверхности почвы на расстоянии свыше 4000 км от источника извержения — подводного вулкана [Baker, 1967].

Естественно, что наиболее часто поступление пепловых

частиц происходит в непосредственной близости от вулканов. Иногда пеплы могут существенно изменять химический состав почв, так как они содержат большое количество воднорастворимых веществ. Например, в пеплах вулкана Поас (Коста-Рика) после извержения 1964 г. было 17% серы, главным образом в виде SO_2 [Krushensky, Escalante, 1967]. В пеплах вулкана Сент-Хеленс содержалось в доступной для растений форме (в частях на 1 млн.): S — от 110 до 640, Cl — от 600 до 980, F — 8 [Engibous et al., 1982]. Через 4 нед. после извержения этого вулкана на трансекте длиной около 75 км на участках с мощностью пепла от 0,1 до 40 мм отмечено, что хлориды вынесены на глубину 25 см по профилю почвы [Gough et al., 1981]. Кроме того, отмечаются случаи существенного изменения радиационной обстановки в районе извержения. Р. Роулс [Rawls, 1980] установила, что в результате параксизмального взрыва вулкана Сент-Хеленс 18 мая 1980 г. поступило $1,01 \cdot 10^{17}$ Бк Rn, а концентрация в пепле радиоактивных изотопов Ra, Po, K, Th, Vi, Pb сравнима с их концентрацией в урановых хвостах; в период деятельности Северного прорыва на вулкане Толбачик (62 дня) ежесуточно выбрасывалось $3,7 \cdot 10^{15}$ Бк Rn при его фоновой концентрации на Камчатке $3,7 \cdot 10^{-1}$ Бк/м³ [Абрамовский и др., 1977]. Повышение уровня радиоактивности и содержание ^{40}K отмечается также в пеплах вулкана Сакурадзима в Японии [Danjo et al., 1984]. Увеличение радиоактивности способствует резкому повышению количества ядер конденсации, образующихся в атмосфере на основе загрязняющих воздух веществ.

Аэральное отложение небольшого количества пепла приводит к модификации зонального почвообразовательного процесса. Об этом свидетельствуют результаты работ С. В. Зонна с соавторами [1963], И. А. Соколова [1973] в зонах слабых и умеренных пеплопадов на Камчатке.

Начало новой фазы почвообразования. Об этом явлении можно, видимо, говорить в случае, когда происходит погребение пеплами почвы. Пепловые отложения могут достигать мощности несколько метров. В вулканических областях распространены почвы с ярко выраженной слоистостью, которая является результатом чередования пепловых прослоек и погребенных гумусовых горизонтов. На Камчатке выделяются вулканические слоисто-пепловые почвы [Безайс, 1911; Зонн и др., 1963; Соколов, 1973]; по зарубежной классификации почвы, образованные на вулканических пеплах, носят название андосолей.

В принципе вулканические почвы имеют большое потенциальное плодородие, в них в достаточном количестве содержатся необходимые для растений элементы минерального питания [Зонн и др., 1963]. Хотя есть сведения, что в ряде районов в андосолях отмечается недостаток фосфора вследствие большого содержания в почве аллофанов и подвижного алюминия [Prasad, Motto, 1981].

Ускорение или замедление схода снежного покрова. Отложение вулканических пеплов на снежный покров может либо ускорить его сход [Шамшин, 1963; Виноградов, 1967; Никольская, 1977], либо замедлить [Гультен, 1925; Стариков, Дьяконов, 1954]. Направленность этих процессов зависит от периодичности и количества выпадения пепла. Неоднократные пепловые присыпки в течение зимы, по мнению Г. Ф. Старикова и П. Н. Дьяконова [1954], на Камчатке могут служить причиной задержки схода снежного покрова на срок более 2 нед. Наши наблюдения в районе вулкана Толбачик свидетельствуют, что отложения аэрального пепла мощностью более 10 см способствуют консервации снежников в пониженных частях рельефа. В этом же районе нами обнаружены снежники, сохранившиеся до конца лета, которые были погребены вторично переотложенным пеплом.

Однократные небольшие пепловые присыпки, случившиеся в конце зимы или в начале весны, ускоряют сход снега на Камчатке на 15—20 дней [Шамшин, 1963]. Подобное явление наблюдалось на склонах вулкана Эбеко (Курильские острова) после его небольшого извержения в феврале—марте 1967 г. По данным В. В. Никольской [1977], последовавший за этим необычайно ранний сход снега вызвал бурное развитие травянистых группировок, обычно занимавших гораздо менее значительную площадь. В последующие годы площадь этих группировок растительности снова сократилась. Как мы видим, такие колебания схода снежного покрова, безусловно, не могут не сказаться на сезонной динамике растительности.

Лахары. Очевидно, что есть основания связывать с пеплопадами и такое явление, как лахары. Конечно, лахары далеко не всегда возникают вследствие выпадения пепла. Существуют сведения, что образование лахаров было связано с интенсивным таянием снега на большой территории под действием горячего пепла в районе вулкана Безымянного на Камчатке [Горшков, Богоявленская, 1965; Мелекесцев и др., 1970]. Эти авторы указывают, что лахар, уничтоживший растительность, распространился на расстоянии до 80 км от вулкана. Образование лахаров путем насыщения пеплов водой ливневых осадков было отмечено при извержении вулканов Усу в Японии [Suekane, 1979] и Толбачик [Федотов и др., 1984].

Менее значительные масштабы влияния на растительность свойственны **прямо** воздействию пеплопадов. Результаты влияния зависят от количества изверженного материала и удаленности от центра извержения.

Уничтожение растительности. Уничтожение растительности может происходить как при полном, так и при частичном ее погребении. Н. Дж. Коллинз [Collins, 1969] описывает гибель моховой растительности на о-ве Десе́псон в Антарктике в результате выпадения пепла мощностью 20 см. Имеются сведения о гибели растительности вследствие пеплопадов в других районах

мира [Nicholls, 1959; Sedell et al., 1980; Snellgrove et al., 1983; Sastre et al., 1983; и др.].

Некоторые авторы [Le Guern et al., 1980; Быкасов, 1981] объясняют гибель растительности большим содержанием в пепле токсичных воднорастворимых веществ. В то же время описана сохранившаяся растительность после пеплопадов 1977—1979 гг. на вулкане Суффриер (Малые Антильские острова), которая во время извержения существовала в очень кислой среде — рН поверхностных вод составлял 1,1—3,4 [Howard et al., 1980].

Наши наблюдения на вулкане Толбачик [Сидельников, Шафрановский, 1981] показывают, что одной из причин гибели растений может служить поднятие верхней границы сезонной мерзлоты в почве выше уровня корнеобитаемого слоя. Так, в конце июля в погибшем лиственничнике, засыпанном пеплом слоем 80 см, уровень мерзлоты начинался в 74 см от дневной поверхности. Кроме этого, нами установлено, что различные типы растительных сообществ по-разному отреагировали на пеплопады. Если в целом зона погибшей растительности имела ширину 4—7 км относительно центра извержения, то заросли березы Миддендорфа (*Betula middendorffii*) погибли на расстоянии до 14 км. Различно перенесли пеплопады и основные лесообразующие породы, распространенные в этом районе — лиственницы камчатская (*Larix kamtschatica*) и береза камчатская (*Betula ermanii*). Древостои березы каменной погибли на всех участках, где мощность пепловых отложений превышала 25 см, в лиственничниках такой слой пепла вызвал только повреждения крон и стволов. Ель аянская (*Picea ajanensis*), принимавшая единичное участие в составе этих лесов, после отложения пепла такой мощности практически вся усохла, хотя в районах с большей тепло- и влагообеспеченностью, как, например, на вулкане Тятя, ель хорошо переносит погребение пеплом сходного химического и физического состава мощностью до 65 см.

Крупные вулканические извержения, в результате которых отлагаются большие объемы пеплов и происходит гибель растительности, приводят либо к непродолжительной смене зонального типа растительности [Mack et al., 1979; Cross, Taggart, 1982], либо к очень длительному периоду ее восстановления. Так, в 1907 г. на Камчатке произошло извержение вулкана Ксудач. Гибельные для растительности его последствия были описаны Э. Гультеном [Hultén, 1924, 1972], и через 40 лет после извержения безжизненная пепловая пустыня простиралась на 25—30 км от вулкана [Морозов, 1948; Влодавец, 1949]. Другие примеры приводятся О. А. Брайцевой с соавторами [1983], которые говорят, что активизация вулкана Малый Семьячик на Камчатке привела к уничтожению кедрового стланика (*Pinus pumila*) в радиусе 5—6 км, а большие отложения тефры у вулкана Карымский вызвали запаздывание появления каменноберезовых лесов на 1000 лет по сравнению с близлежащими районами. Уничтоже-

ние растительности может быть связано и с температурой выпавшего пепла. В окрестностях вулкана Сент-Хеленс в полосе шириной несколько километров, примыкающей к зоне поваленных взрывом деревьев, выпала большая масса горячего пепла с температурой от 50 до 200° С. Это послужило причиной гибели хвой пихты (*Abies amabilis*) — основного лесообразователя в данной полосе, так как летальная температура для хвой пихты этого вида равна 47° С [Winner, Casadevall, 1981, 1983].

Повреждение растительности. Повреждение растительности и погребение отдельных ярусов фитоценозов Ю. И. Манько [1974] рассматривает как самостоятельные результаты воздействия вулканических пеплопадов. На наш взгляд, целесообразнее рассматривать эти явления вместе; так как погребение какого-нибудь яруса фитоценоза уже означает его повреждение.

Степень поврежденности растительности зависит от гранулометрического состава аэральной пирокластики, ее химического состава, метеорологических и сезонных условий ее выпадения. В вулканологической литературе имеется много сведений о дифференциации размеров пепловых частиц в зависимости от удаленности их от центра извержения [Горшков, Дубик, 1969; Гущенко, 1979; и др.]. Отмечалось, что в 20 км от вулкана Ксудач средний диаметр выпавшей в ходе извержения 1907 г. пемзы равен 2,6 см, вес — 3,9 г, а в 150 км размер составлял 0,02 см и вес — 0,000 102 г; крупные куски пемзы обломали вершины деревьев, у части из них ободрали кору [Hultén, 1924]. На фотографиях, сделанных этим автором через 14 лет после извержения, видно, что листья в кронах ив и берез развиты только в пристволовой части вследствие повреждения концов ветвей [Hultén, 1972]. Сходную картину мы наблюдали в районе вулкана Толбачик после его извержения в 1975—1976 гг. и после извержения 1973 г. вулкана Тятя на о-ве Кунашир.

Характер повреждения растительности, связанный с химическим составом пепла, до настоящего времени изучен недостаточно. На этот вопрос обратили внимание некоторые исследователи [Le Guern et al., 1980; Быкасов, 1981], но кроме предположений эти работы не содержат фактического материала. В то же время указывается, что пепел вулкана Сент-Хеленс, содержащий 7—10 мг/кг соединений фтора, вызвал некроз листьев, кроме того, частички пепла, обладающие абразивными свойствами, повреждали кутикулу [Kennedy, 1981]. Прекращение роста трав по всей Исландии во время извержения вулкана Лаки в 1783 г. Ф. М. Буллард [Bullard, 1962] связывает с большой насыщенностью пепла сернистым газом.

Ущерб, наносимый пеплом растительности, значительно усиливается, когда пеплопады сопровождаются дождями. По данным А. Ритмана [1964], вулканический пепел в первые дни после выпадения обладает способностью к цементации. Это

служит причиной его накопления в кронах деревьев. Увеличение массы пепла в кроне ведет к облому отдельных ветвей, изгибанию ствола дерева и в ряде случаев к его вывалу. Приводятся данные о повреждении стволов лиственницы японской (*Larix leptolepis*) вследствие пеплопадов при извержении вулкана Усу на Хоккайдо в августе 1977 г., указывается, что повреждения деревьев в 90% случаев были в насаждениях большого возраста, тогда как молодые древостои практически не пострадали [Imagawa et al., 1980]. Для этого же района приводятся сведения о повреждении побегов пихты сахалинской (*Abies sachalinensis*) в зависимости от количества выпавшего пепла [Toyooka et al., 1979]. Совсем противоположную картину представляют собой леса в зоне поврежденной растительности на вулкане Толбачик. Здесь в основном повреждения получили загущенные молодняки лиственницы камчатской и березы белой (*Betula kamtschatica*), старые древостои и разреженные молодняки пострадали в значительно меньшей степени [Сидельников, Шафрановский, 1981]. Это объясняется тем, что пеплопады во время извержения Северных конусов вулкана Толбачик сопровождались частыми дождями малой интенсивности, которые способствовали ускоренной цементации пепла и его накоплению в хорошо развитых кронах молодняков. Р. Н. Мэк [Mack, 1981] сообщает о механическом повреждении стеблей и стволов некоторых растений в связи с перегрузкой, вызванной скопившимся на листьях пеплом, на расстоянии около 150 км от центра извержения.

Существенно увеличивает повреждение растительности выпадение пепла на снежный покров. В районе вулкана Сент-Хеленс там, где пепел лег на еще не стаявший снег, он достиг поверхности почвы в виде вязкой массы, под которой были погребены листопадные кустарники и подрост хвойных пород [Antos, Zobel, 1982]. Эти авторы отмечают, что в местах, где пепел отложился непосредственно на почву, данные растения не пострадали; у большинства видов подрост хвойных пород на второй год после извержения стали развиваться придаточные корни в толще пепла [Zobel, Antos, 1982].

В последнее время для обнаружения и классификации повреждений растительности вулканическими пеплопадами используется многозональная аэрокосмическая съемка с дальнейшей цифровой обработкой полученных изображений [Maesaki, 1979; Maesaki, Suzuki, 1979]. Кроме этого, была предпринята попытка выявить возможную индикационную роль растительного покрова при прогнозировании активизации вулканов [Гусев и др., 1979]. Пока не удалось выделить каких-либо критериев, которые можно было бы использовать в качестве прогнозных явлений. Это, на наш взгляд, косвенно подтверждает ошибочность мнения Н. В. Ловелиуса [1970] о реагировании деревьев на приближающееся извержение путем снижения темпов радиального прироста за несколько лет до него.

Имеются разноречивые данные о влиянии вулканических пеплопадов на возобновление древесных пород. Так, по мнению И. Н. Елагина [1963], пеплопады способствуют смене каменноберезовых лесов на Камчатке еловыми. В то же время В. Г. Турков [1963] и В. А. Шамшин [1965] считают, что пеплопады, угнетающие моховой покров в еловых лесах Камчатки, отрицательно сказываются на естественном возобновлении ели аянской, которое приурочено к пятнам мхов. Ю. И. Манько и В. П. Ворошилов [1978] указывают, что моховой покров менее всего развит в ельниках вблизи действующих вулканов. Ими отмечена приуроченность подроста ели к трухлявому валежу.

Т. Т. Веблен [Veblen, 1980] приводит данные, которые свидетельствуют, что возобновление *Nothofagus rimilio* в субальпийских лесах на юге центральной части Чили становится возможным только после катастрофических воздействий, в том числе и пеплопадов, на доминирующий в подлеске этих лесов бамбук. Похожее явление отмечено нами в 1980 г. у южного подножия вулкана. Тятя в елово-пихтовом лесу, в котором моховой покров был погребен слоем пепла извержения 1973 г. мощностью 8—10 см. Древостой на участке имеет высокую вертикальную и горизонтальную сомкнутость: под его пологом развит сплошной покров из подроста пихты сахалинской высотой 10—15 см в возрасте 6 лет. Есть данные, что уничтожение пеплопадами высокоствольных лугов на прибрежных дюнах Хоккайдо способствует становлению древесной растительности на этих участках [Saito, Higashi, 1971].

Запыление ассимиляционного аппарата. Загрязнение ассимиляционного аппарата растений вулканическими пеплопадами происходит на всей площади, где они наблюдаются. Степень запыленности зависит от частоты поступления пепла, продолжительности его нахождения на листьях, от фазы развития растений. Небольшие количества пепла чаще всего вскоре после их отложения смываются атмосферными осадками. Например, пепел вулкана Такати-Даке (о-в Хоккайдо) находился на поверхности листьев растений на о-ве Кунашир в течение 10 дней [Кривоуцкая, Нечаев, 1963]. После извержения вулкана Сент-Хеленс концентрация взвешенных пепловых частиц на расстоянии около 400 км от центра извержения составляла 9305 мкг/м³ в течение нескольких дней [Farwell et al., 1981], и даже через 1,5 мес. пепловые частички были найдены на верхнем и нижнем эпидермисе листьев и листья, покрытые слоем пепла 0,01 мм, имели фотосинтез 70% от нормы [Kennedy, 1981].

В целом, оценивая масштабы влияния вулканических пеплопадов на растительность по их результатам, можно прийти к заключению, что наибольшие масштабы воздействия свойственны явлениям кратковременным (изменение климата, запыление ассимиляционного аппарата). Образование лахаров, уничтожение растительности и начало новой фазы почвообразовательного

процесса вследствие пеплопадов проявляется в наименьших масштабах.

Однако, учитывая, что под влиянием пеплопадов различной интенсивности находятся значительные территории советского Дальнего Востока, особенно Камчатка и Курильские острова, необходимо усилить изучение воздействия пеплопадов на растительность для выработки основ рационального природопользования в этих районах.

ЛИТЕРАТУРА

- Абрамовский Б. П., Алимов В. Н., Ионов В. А. и др. Выброс в атмосферу газообразных и аэрозольных продуктов извержения вулкана Толбачик (Камчатка) // ДАН СССР. 1977. Т. 237, № 6. С. 1479—1482.
- Безайс Э. К. Условия почвообразования на Камчатке // Материалы по изучению русских почв. Спб., 1911. Вып. 20. С. 89—148.
- Брайцева О. А., Егорова И. А., Сулержицкий Л. Д. Тейфрохронологические и палинологические исследования в районах активного вулканизма // Изв. АН СССР. Сер. геогр. 1983. № 6. С. 84—91.
- Брукс К. Климаты прошлого. М.: ИЛ, 1952. 356 с.
- Будыко М. И. Глобальная экология. М.: Мысль, 1977. 327 с.
- Будыко М. И., Пивоварова З. И. Влияние вулканических извержений на приходящую к поверхности Земли солнечную радиацию // Метеорология и гидрология. 1967. № 10. С. 3—7.
- Быкасов В. Е. Шлаково-пепловый чехол извержения 1975 г. и поражение растительности Толбачинского дола // Вулканология и сейсмология, 1981. № 1. С. 76—78.
- Виноградов В. Н. О влиянии вулканизма на снежный покров и ледники // Вопр. геогр. Камчатки. 1967. Вып. 5. С. 88—94.
- Влодавец В. И. Вулканы Советского Союза. М.: Госгеографиздат, 1949. 164 с.
- Горшков Г. С., Богоявленская Г. Е. Вулкан Безымянный и особенности его последнего извержения 1955—1963 гг. М.: Наука, 1965. 171 с.
- Горшков Г. С., Дубик Ю. М. Направленный взрыв на вулкане Швелуч // Вулканы и извержения. М., 1969. С. 3—37.
- Гультен Э. Некоторые географические заметки к карте Южной Камчатки // Изв. географ. о-ва. 1925. № 7. С. 33—52.
- Гусев Н. А., Двигаго В. И., Разина А. А. Дистанционные методы при изучении Толбачинского извержения // Вулканология и сейсмология. 1979. № 2. С. 27—42.
- Гущенко И. И. Извержения вулканов мира: Каталог. М.: Наука, 1979. 476 с.
- Дроздов О. А. Колебания климата голоцена, подтверждаемые ходом вулканизма, ледовитости и палеотемпературой ледников // Материалы гляциологических исследований. Хроника. Обсуждения. М., 1983. Вып. 46. С. 29—33.
- Елагин И. Н. Эколого-фенологическая характеристика каменноберезовых лесов Центральной Камчатской депрессии // Леса Камчатки и их лесохозяйственное значение. М., 1963. С. 229—258.
- Зонн С. В., Карпачевский Л. О., Стефин В. В. Лесные почвы Камчатки. М.: Изд-во АН СССР, 1963. 254 с.
- Калитин Н. Н. К вопросу о колебаниях прозрачности атмосферы // Журн. Петрогр. агроном. ин-та. 1919. Вып. 1, отд. 2. С. 64—76.
- Комаров В. Л. Путешествие по Камчатке в 1908—1909 гг. / Камчатская экспедиция Ф. П. Рябушинского, снаряженная при содействии Русского географического общества М., 1912. Вып. 1. Ботан. отд. С. 1—456.
- Комаров В. Л. Ботанический очерк Камчатки // Камчатский сборник. М.: Л. 1940. Вып. 1. С. 5—52.
- Комаров В. Л. Ботаника // Избр. соч. М., 1953. Т. 9. С. 751—762.

Криволуцкая Г. О., Нечаев В. А. Вулканический пеплопад // Природа, 1963. № 9. С. 126.

Ловелиус Н. В. Влияние извержений вулканов на растительность Камчатки // Ботан. журн., 1970. Т. 55, № 11. С. 1630—1633.

Логинов В. Ф. Вулканические извержения и климат. Л.: Гидрометеоздат, 1984. 64 с.

Лучицкий И. В. Основы палеовулканологии. Т. 1. Современные вулканы. М.: Наука, 1971. 480 с.

Манько Ю. И. Влияние современного вулканизма на растительность Камчатки и Курильских островов // Комаровские чтения. Владивосток, 1974. Вып. 22. С. 5—31.

Манько Ю. И. Вулканизм и динамика растительности // Ботан. журн. 1980. Т. 65, № 4. С. 457—469.

Манько Ю. И., Ворошилов В. П. Еловые леса Камчатки. М.: Наука, 1978. 256 с.

Мелекесцев И. В., Краевая Т. С., Брайцева О. А. Рельеф и отложения молодых вулканических районов Камчатки. М.: Наука, 1970. 104 с.

Морозов А. И. Кальдера-вулкан Ксудач // Природа. 1948. № 10. С. 62—64.

Никольская В. В. Аспекты взаимодействия вулканизма и климата в образовании и развитии рельефа Земли (на примере Курильской островной дуги) // Исследования взаимодействий факторов рельефообразования. Владивосток, 1977. С. 81—90.

Ритман А. Вулканы и их деятельность. М.: Мир, 1964. 438 с.

Сидельников А. Н., Шафрановский В. А. Влияние извержения вулкана Толбачик 1975—1976 гг. (Камчатка) на растительность // Лесоводственные исследования на Сахалине и Камчатке. Владивосток, 1981. С. 107—144.

Соколов И. А. Вулканизм и почвообразование (на примере Камчатки). М.: Наука, 1973. 224 с.

Стариков Г. Ф., Дьяконов П. Н. Леса полуострова Камчатки. Хабаровск: Кн. изд-во, 1954. 152 с.

Турков В. Г. Естественное возобновление основных древесных пород среднего течения реки Камчатки и меры содействия ему // Леса Камчатки и их лесохозяйственное значение. М., 1963. С. 126—167.

Федоров Е. Е. Влияние вулканической пыли на приходо-расход лучистой энергии и температуру воздуха // Природа. 1921. № 7—9. С. 17—38.

Федотов С. А., Чирков А. Н., Разина А. А. Северный прорыв // Большое трещинное Толбачинское извержение (1975—1976 гг., Камчатка). М., 1984. С. 11—74.

Шамшин В. А. Лесопожарное районирование Камчатской области // Леса Камчатки и их лесохозяйственное значение. М., 1963. С. 324—341.

Шамшин В. А. Влияние вулканических пеплопадов на леса Центральной Камчатки // Вопросы географии Камчатки. Петропавловск-Камчатский, 1965. Вып. 3. С. 83—89.

Antos J., Zobel D. Snowpack modification of volcanic tephra effects on forest understory plants near Mount St. Helens // Ecology, 1982. V. 63, № 6. P. 1969—1972.

Baker P. E. An outline of the geology of the Juan Fernandez Archipelago // Geol. Mag. 1967. V. 104. № 2. P. 110—115.

Bullard F. M. Volcanoes in history, in theory, in eruption. Austin: Univ. Texas Press, 1962. 441 p.

Burroughs W. J. Mount St. Helens: a review // Weather. 1981. V. 36, № 8, p. 238—240.

Chuan R. L., Woods D. C., Mc Cormick M. P. Characterization of aerosols from eruptions of Mount St. Helens // Science, 1981. V. 211, № 4484. P. 830—832.

Collins N. J. The effects of volcanic activity on the vegetation of Deception Island // Brit. Antarct. Surv. Bull. 1969. № 21. P. 79—94.

Cross A. T., Taggart R. E. Causes of short-term sequential changes in fossil plant assemblages: some considerations based on Miocene flora of the Northwest United States // Ann. Mo. Bot. Gard. 1982. V. 69. № 3. P. 676—734.

Danno A. et al. Изучение влияния выпавшего вулканического пепла на сельскохозяйственные культуры и насаждения в префектуре Сакурадзима // Кагосима дайгаку ногакубу гакудзюку хококу. 1984. № 34. P. 197—210.

Engibous J. C. et al. Impact of Mount St. Helens eruption on ecosystems // NASA Conf. Publ. 1982. № 2240. P. 37—46.

Farwell S. O. et al. Inhalable particulate levels in Northern Idaho from initial eruptions of Mount St. Helens // J. Air Pollut. Contr. Assoc. 1981. V. 31, № 1, P. 71—74.

Gough B. L. P. et al. Ash-fall effects on the chemistry of wheat and the Ritzville soil series, Eastern Washington.— U. S. Geol. Surv., Surv., Prof. Pap. 1981. № 1250. P. 761—782.

Gribbin J. Do volcanoes affect the climate? // New Sci. 1982. V. 93, № 1289. P. 150—153.

Griggs R. F. Das Tal der Zehntausend Dämpfe. Leipzig: F. A. Brockhaus, 1927. 334 S.

Hammer C. U., Clausen H. B., Dansgaard W. Greenland ice sheet evidence of postglacial volcanism and its climatic impact // Nature. 1980. V. 288, № 5788. P. 230—235.

Hobbs P. V., Radke L. F., Smith J. L. Particles in the eruption cloud from St. Augustine Volcano // Science, 1978. V. 199, № 4327. P. 457—458.

Howard R., Portecop J., Montaignac P. The post-eruptive vegetation of La Soufriere Guadeloupe, 1977—1979 // J. Arnold Arbor. 1980. V. 61 № 4. P. 749—764.

Hultén E. Eruption of Kamtschatka Volcano in 1907 and its atmospheric consequences // Geol. Fören. Förhandl. 1924. V. 46, № 5. P. 407—417.

Hultén E. The plant cover of southern Kamchatka // Ark. bot. 1972. V. 7, № 2—3. P. 181—257.

Imagawa H., Ishida S., Tajima Y. Повреждение лиственницы японской при извержении вулкана Усу. 1. Внешнее повреждение стволов // Res. Bulls Coll. Exp. Forests Hokkaido Univ. 1980. V. 37, № 1. P. 209—229.

Kennedy R. A. The eruption of Mount St. Helens: impact on agriculture and the effects of Mount St. Helens ash on plants // Scann. Electron Microsc. 1981. V. 4, № 4. P. 235—241.

Krushensky R. D., Escalante G. Activity of Irazú and Poás Volcanoes, Costa Rica, November 1964—July 1965 // Bull. volcanol. 1967. V. 31, № 5. P. 75—84.

La Marche V. C. Jr., Hirschboeck K. K. Frost rings in trees as records of major volcanic eruptions // Nature. 1984. V. 307, № 5947. P. 121—126.

Le Guern F., Bernard A., Chevrier R. M. Soufriere of Guadeloupe 1976—1977 eruption — mass and energy transfer and volcanic health hazards // Bull. volcanol. 1980. V. 43, № 3. P. 577—593.

Mack R. N. Initial effects of ashfall from Mount St. Helens on vegetation in eastern Washington and adjacent Idaho // Science. 1981. V. 213, № 4507. P. 537—539.

Mack R. N., Rutter N. W., Valastro S. Holocene vegetation history of the Okanogan Valley, Washington // Quatern. Res. 1979. V. 12. № 2. P. 212—225.

Maesaki T. Classification of forest tree damage caused by the eruption of Usu volcano using MSS data // JAFSA RS Rep. 1979. V. 20, № 6. P. 63—73.

Maesaki T., Suzuki H. Classification of forest tree damage caused by the eruption of Usu volcano using MSS data // Bull. Hokkaido For. Exp. Sta. 1979. № 17. P. 63—79.

Nicholls J. L. The volcanic eruptions of Mt. Tarawera and Lake Rotomahama and effects on surrounding forests // N. Z. J. For. 1959. V. 8. P. 133—142.

Oswalt W. H. Volcanic activity and Alaskan spruce growth in A. D. 1783 // Science. 1957. V. 126, № 3279. P. 928—929.

Prasad S. S., Motto N. L. Evaluation of P as a limiting macronutrient in volcanic ash soils of Guatemala // Commun. Soil Sci. and Plant Anal. 1981. V. 12, № 10. P. 1021—1029.

Rampino M. R., Self S. The atmospheric effects of El Chichón // Sci. Amer. 1984a. V. 250, № 1. P. 48—57.

Rampino M. R., Self S. Sulphur-rich volcanic eruptions and stratospheric aerosols // Nature. 1984b. V. 310, № 5979. P. 677—679.

Rawls R. Mt. St. Helens stirs chemical interest // Chem. and Eng. News. 1980. V. 58, № 34. P. 28, 32.

Robock A., Matson M. Circumglobal transport of the El Chichón volcanic dust cloud //Science. 1983. V. 221, № 4606. P. 195—197.

Saito S., Higashi S. The ecological relations of the layer of volcanic ash on the development of forest vegetation at the coastal dunes in Northern Hokkaido //Res. Bull. Coll. Exp. Forests, Hokkaido Univ., 1971. V. 28, № 2. P. 421—471.

Sastre C., Baudoin R., Portecop J. Evolution de la végétation de la Soufrière de Guadeloupe depuis les éruptions de 1976—77 par l'étude de la répartition d'espèces indicatrices //Bull. Mus. nat. hist. natur. 1983. V. 5, № 1. P. 63—92.

Sedell J. R., Franklin J. F., Swanson F. J. Out of the ash //Amer. Forests, 1980. V. 86, № 10. P. 26—69.

Sedlacek W. A., Mroz E. J., Heiken G. Stratospheric sulfate from the Gareloi eruption, 1980: contribution to the «ambient» aerosol by a poorly documented volcanic eruption //Geophys. Res. Lett. 1981. V. 8, № 7. P. 761—764.

Self S., Rampino M. R., Barbera J. J. The possible effects of large 19th and 20th century volcanic eruptions on zonal and hemispheric surface temperatures //J. Volcanol. and Geotherm. Res. 1981. V. 11, № 1. P. 41—60.

Snellgrove T. A., Snell J. A. K., Max T. A. Damage to national forest timber on Mount St. Helens //J. Forest. 1983. V. 81, № 6. P. 368—371.

Suekane A. On the occurrence of mud—flows in Ishino-sawa, Mt. Usu, 1977 //Geogr. Rev. Jap. 1979. V. 52, № 6. P. 302—310.

Toyooka H. et al. Effect of the adhering ejecta to the twigs and needles of Saghalin-fir (*Abies sachalinensis* (Fr. Schm.) Mast.) on the amount of needles after the eruption of Mt. Usu in 1977 //Jap. J. Ecol. 1979. V. 29, № 3. P. 289—294.

Tricart J. L'éruption du volcan El Chichón (Mexique) mars-avril 1982 //Ann. de Géographie. 1983. V. 92, № 512. P. 385—402.

Veblen T. T. Regeneration patterns in subalpine *Nothofagus* forests in south-central Chile //Techn. Pap. Forest Res. Inst. N. Z. Forest Serv. 1980. № 70. P. 179—193.

Winner W. E., Casadevall T. J. Fir leaves as thermometers during the May 18 eruption //U. S. Geol. Surv. Prof. Pap. 1981, № 1250. P. 315—320.

Winner W. E., Casadevall T. J. The effects of the Mount St. Helens eruption cloud on fir (*Abies* sp.) needle cuticles: analysis with scanning electron microscopy //Amer. J. Bot. 1983. V. 70, № 1. P. 80—87.

Zobel D. B., Antos J. A. Adventitious rooting of eight conifers into a volcanic tephra deposit //Can. J. For. Res. 1982. V. 12, № 3. P. 717—719.