

Актуальные проблемы

УДК 551.21

ГИДРОСФЕРНЫЕ ПРОЦЕССЫ И ЧЕТВЕРТИЧНЫЙ ВУЛКАНИЗМ

© 2004 г. Н. И. Селивёрстов

*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН,  
Петропавловск-Камчатский, 683006, т.(41522)59405, e-mail: selni@kcs.iks.ru*

Рассмотрены временные связи между периодами глобального и регионального усиления эксплозивной вулканической активности в позднем кайнозое и эвстатическими циклами различных порядков. Показаны тесная связь сильнейших вулканических событий плейстоцена по обрамлению Тихого океана с регрессивными стадиями гляциоэвстатических циклов 4-го порядка и корреляция сильнейших голоценовых извержений вулканов Камчатки с эвстатическими циклами 5-го порядка. Рассмотрены возможные механизмы влияния глобальных гидросферных процессов на эксплозивную вулканическую активность. Предполагается, что активизация кальдерообразующих движений и связанных с ними крупномасштабных проявлений эксплозивного вулканизма в ледниковые периоды плейстоцена обусловлена сбросом давления в магматических системах вследствие гляциоэвстатических понижений уровня океана в эти периоды.

ВВЕДЕНИЕ

Вулканическая активность в геологическом времени не оставалась постоянной, а скорее проявлялась эпизодически в течение всей геологической истории Земли. Кайнозойский отрезок истории в этом отношении не является исключением. Полученные к настоящему времени многочисленные фактические данные указывают на эпизодичность и глобальное усиление вулканической активности в позднем кайнозое, что особенно ярко проявилось в четвертичное время. Об этом свидетельствуют распределение прослоев вулканических пеплов в осадочном чехле Мирового океана, изученных в скважинах глубоководного бурения, а также датировки серий вулканических пород и отложений тефры по обрамлению Тихого океана (Кеннет, 1987).

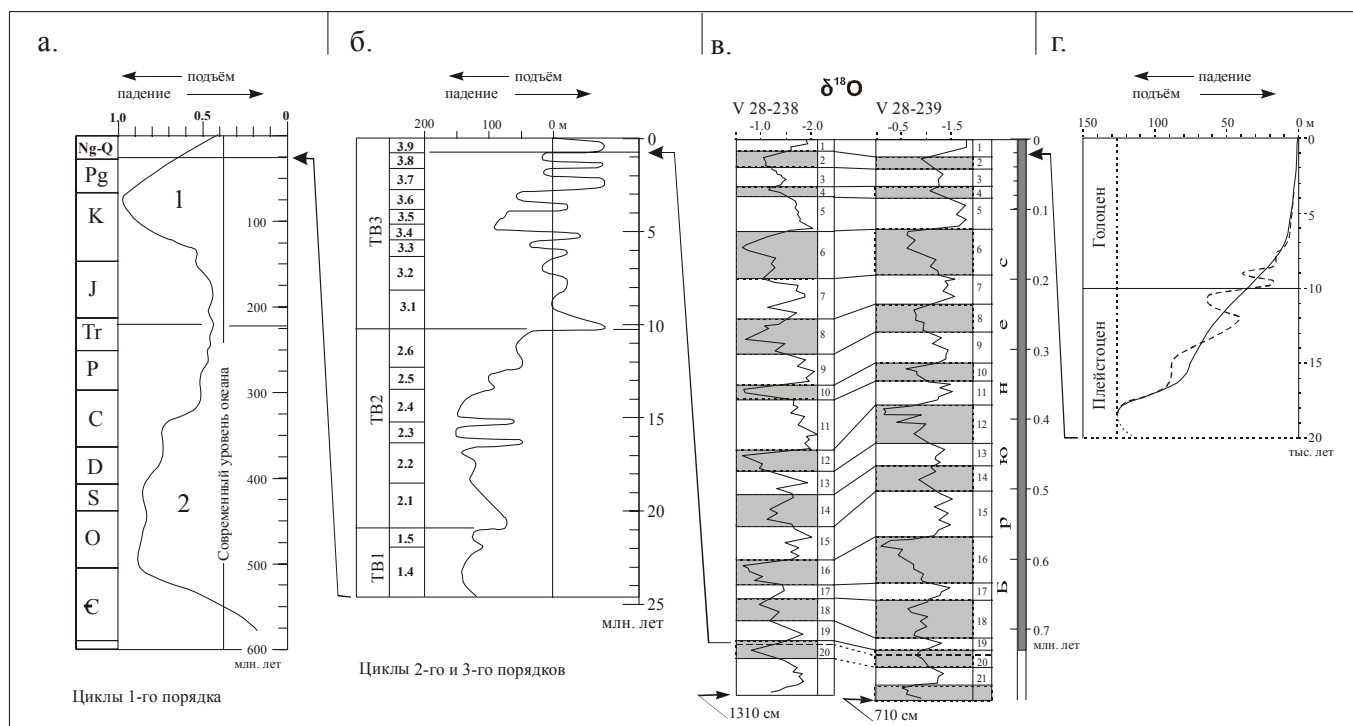
Глобальное усиление вулканической активности - не единственная примечательная черта позднего кайнозоя. К этому периоду времени относится и существенное изменение характера эвстатических колебаний уровня океана. Данная работа посвящена выяснению временных взаимосвязей и возможных механизмов взаимной обусловленности этих двух глобальных процессов.

Эта работа была впервые опубликована в журнале «Вулканология и сейсмология» (Селиверстов, 2001), и включена в настоящий сборник с некоторыми авторскими дополнениями и изменениями.

О ГЛОБАЛЬНЫХ ЭВСТАТИЧЕСКИХ ЦИКЛАХ

История эвстатических колебаний уровня океана в ходе геологического развития Земли достаточно сложна и восстановлена далеко не полностью. К настоящему времени установлено, что эти колебания обусловлены суперпозицией эвстатических циклов различного порядка. На рис.1 (а, б, в) представлены диаграммы глобальных эвстатических изменений уровня океана (Вейл и др, 1982; Hag et al., 1987), а также изотопно-кислородные диаграммы Шеклтона-Опдайка (Shackleton, Opdyke, 1973; Shackleton, Opdyke, 1976), характеризующие гляциоэвстатические колебания уровня океана в четвертичное время (в).

Для фанерозойского времени (рис.1, а) по геологическим данным выделено 2 эвстатических цикла первого порядка длительностью 200-300 млн. лет (Вейл и др, 1982). На фоне этих, наиболее низкочастотных колебаний, проявлялись более высокочастотные - эвстатические циклы 2-го и 3-го порядков. На одной из последних версий глобальной эвстатической циклограммы, составленной по данным сейсмической стратиграфии и бурения, от триаса до голоцена выделено 27 циклов второго порядка длительностью от 4 до 30 млн. лет и 127 циклов третьего порядка длительностью от нескольких сот тысяч до 9 млн. лет (Hag et al., 1987). На рис.1, б представлен фрагмент этой циклограммы для последних 25 млн. лет. Буквенно-



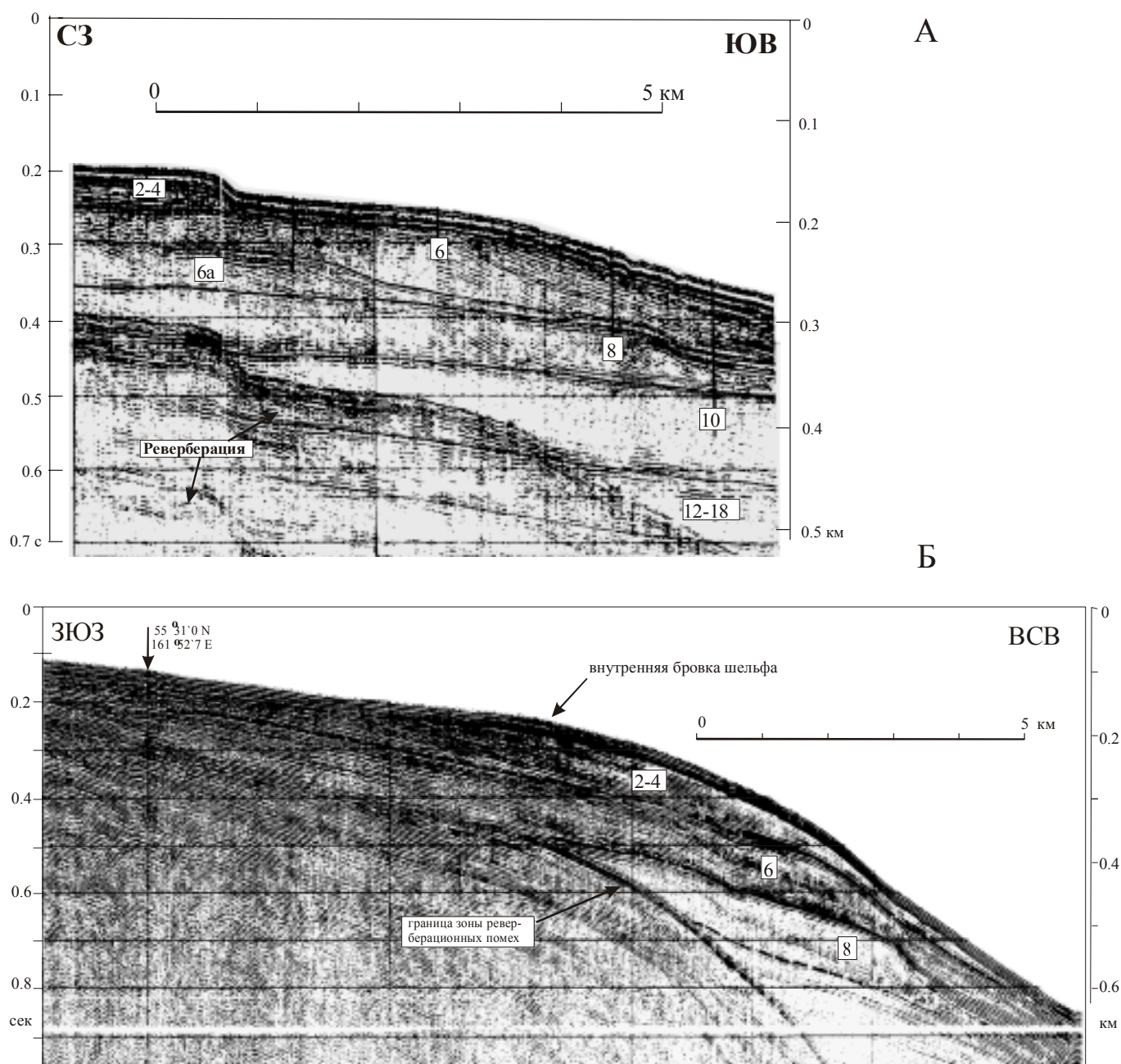
**Рис.1.** Диаграммы глобальных изменений уровня океана.

*а* - глобальные эвстатические циклы первого порядка для фанерозоя по данным (Вейл и др., 1982); относительные изменения уровня океана приведены в долях максимального размаха амплитуд эвстатических колебаний по диаграммам циклов 2 и 3 порядков; длительность геологических периодов на диаграмме приведена в соответствии с работой (Харленд и др., 1985); *б* - фрагмент глобальной эвстатической диаграммы циклов 2 и 3 порядков для неоген-чет-вертичного времени по данным работы (Hag et al., 1987); *в* - изотопно-кислородные диаграммы тихоокеанских колонок глубоководных осадков V28-238 и V28-239 по данным работ (Shackleton, Opdyke, 1973; Shackleton, Opdyke, 1976); *г* - диаграмма глобального изменения уровня океана за последние 20 тыс. лет по данным работы (Каррей, 1968); сплошная линия - график позднелайстоцено-голоценового изменения уровня океана, построенный по осреднённым значениям радиоуглеродных датировок; штриховая линия - график Дж. Каррея; точечная линия - предполагаемый график изменения уровня океана.

цифровые и цифровые обозначения циклов 2-го и 3-го порядков на этом рисунке приведены в соответствии с работой (Hag et al., 1987).

Важной особенностью позднекайнозойской истории эвстатических колебаний является прогрессирующее влияние ещё более высокочастотной составляющей - циклов четвёртого порядка, длительностью от десятков до первых сотен тысячелетий. Наиболее полные и представительные данные по этим циклам получены благодаря успешному применению изотопно-кислородного и палеомагнитного методов при изучении колонок глубоководных осадков (Shackleton, Opdyke, 1973; Shackleton, Opdyke, 1976). Установлена тесная связь циклов 4-го порядка с периодическими изменениями орбитальных параметров Земли, что постулировалось в «астрономической» гипотезе оледенений Миланковича (Hays et al., 1976). В частности, показано преобладание в спектральном составе изотопно-кислородной кривой 100-тысячелетних циклов, а также наличие составляющих с периодами 43, 24 и 19 тыс. лет, которые характерны и для орбитальных параметров Земли.

Позднекайнозойские эвстатические циклы 4-го порядка обусловлены исключительно перемещениями водных масс между океаном и сушей в процессе роста и деградации ледников, т.е. по своей природе являются гляциоэвстатическими (Николаев, 1972). Причина их прогрессирующего влияния на неоген-четвертичный эвстатический процесс связывается с проявлением высокоамплитудных колебаний в системе ледники-океан-атмосфера, обусловленных развитием антарктического покровного оледенения вследствие постепенного смещения Антарктиды в южные полярные широты и возникновения циркумполярного Антарктического течения (Ушаков, Ясманов, 1984). Судя по изотопно-кислородным данным (Кеннет, 1987), незначительные по амплитуде гляциоэвстатические колебания уровня океана отмечались еще в среднем и верхнем миоцене. Но максимального размаха (более 100 м) они достигли лишь в плейстоцене и в значительной мере обусловили современный облик побережий и шельфа Мирового океана. Их яркие следы на суше - многочисленные четвертичные морские террасы, образующие закономерные последователь-



**Рис.2.** Высокочастотные сейсмоакустические разрезы шельфа в западной части Кроноцкого залива (а) и в западной части Камчатского залива (б). Получены в 39 рейсе НИС «Вулканолог» в 1991 г. (Селиверстов, 1996). Цифры в рамках - номера изотопно-кислородных стадий плейстоцена, во время которых предполагается образование соответствующих осадочных комплексов.

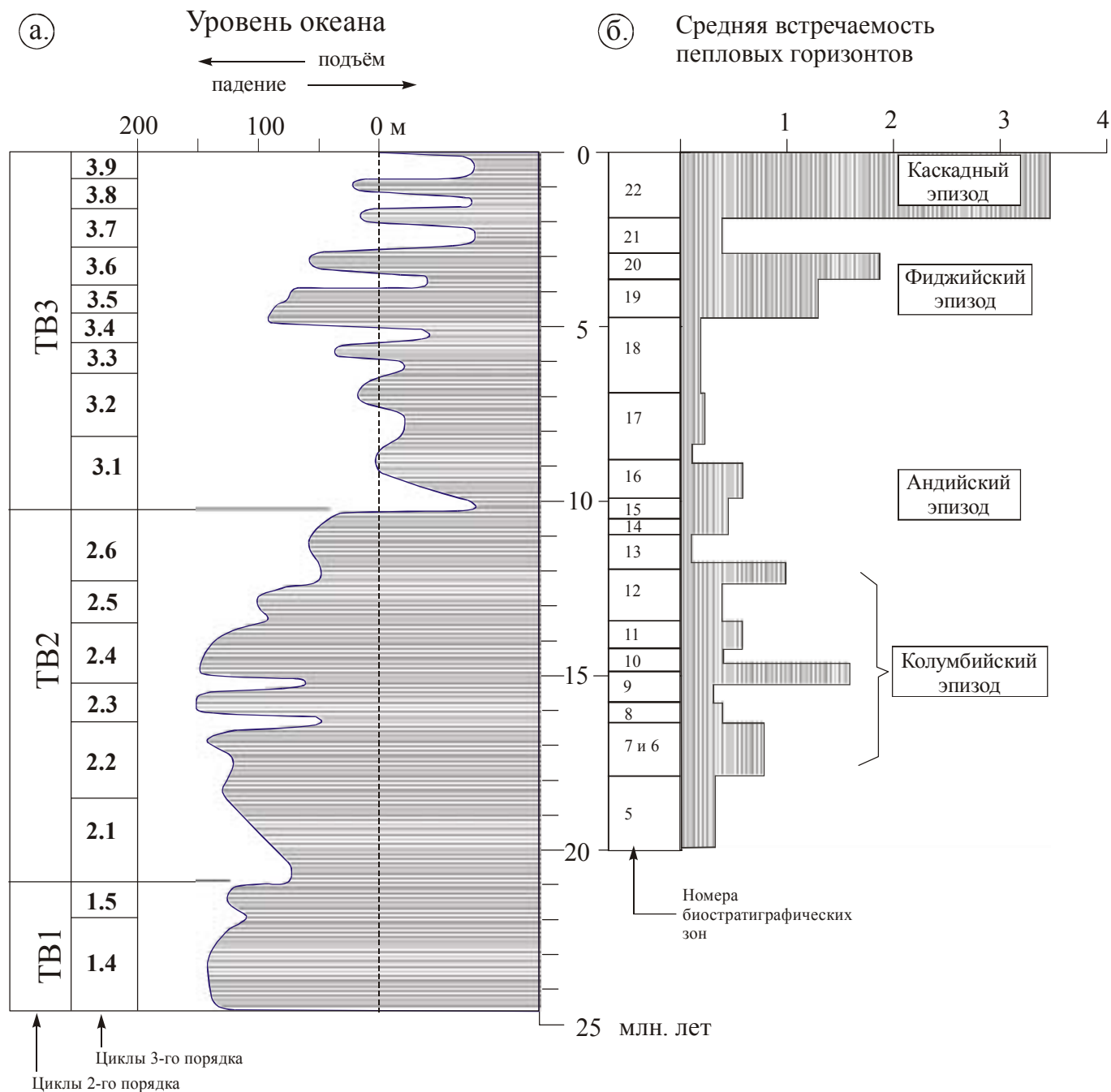
ности на воздымающихся побережьях практически всех континентов и многих островах (Кинг, 1968; Цейнер, 1963). Подобные последовательности подводных морских террас наблюдаются и на погружающихся участках шельфа, в частности – у берегов Восточной Камчатки. На рис.2 (а, б) проиллюстрированы запечатленные на сейсмоакустических разрезах последовательности аккумулятивных морских террас, формирование которых было обусловлено плейстоценовыми гляциоэвстатическими колебаниями уровня океана на фоне интенсивного (1.5-3 мм/год) тектони-

ческого погружения шельфа в Кроноцком и Камчатском заливах (Селиверстов, 1996).

#### ЭВСТАТИЧЕСКИЕ ЦИКЛЫ И ВУЛКАНИЗМ

Каковы же временные связи между глобальными эвстатическими циклами различных порядков и периодами усиления вулканической активности?

Кайнозойское время характеризуется постепенным усилением вулканической активности, что особенно заметно проявилось в позднем кайнозое (Кен-



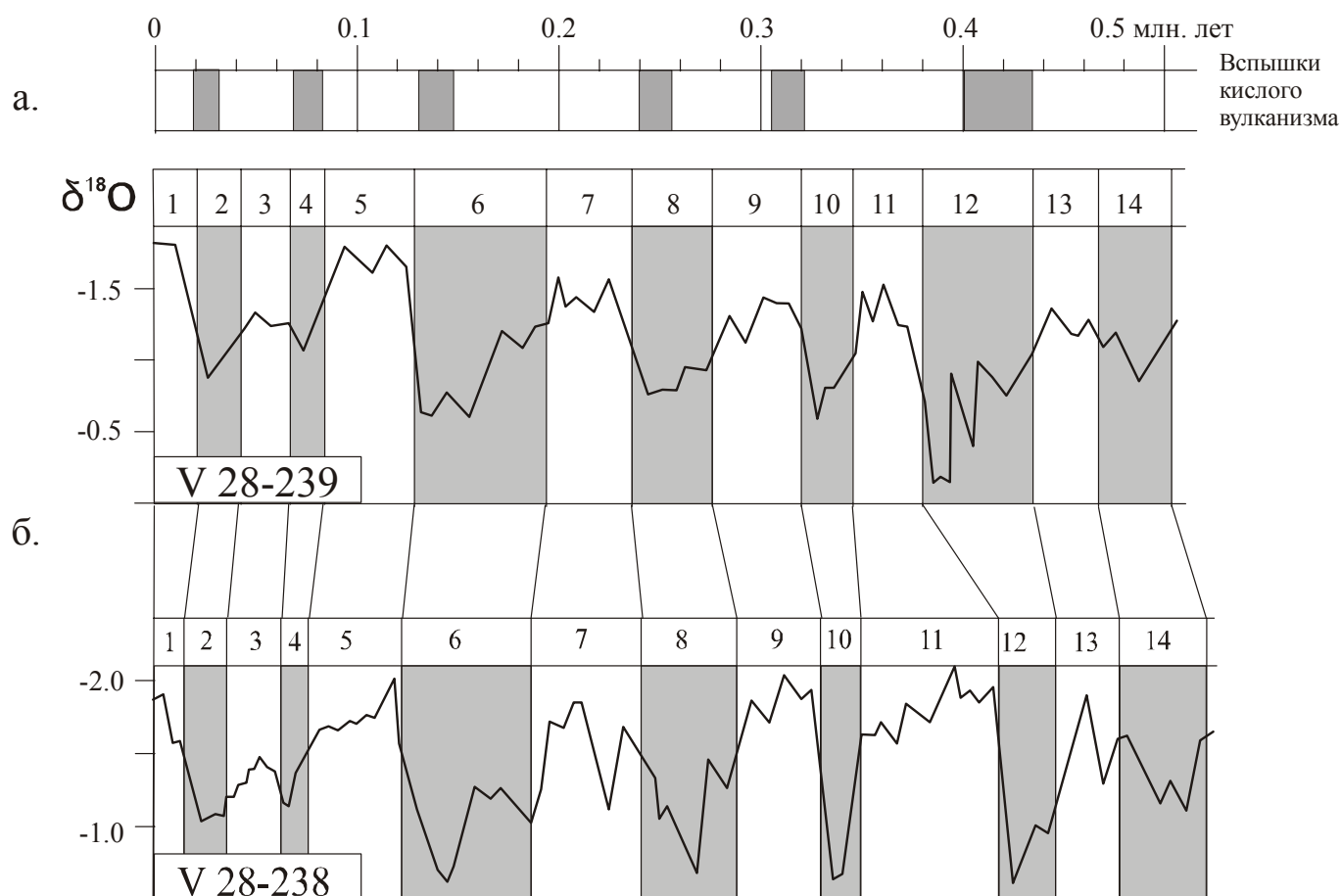
**Рис.3.** Эвстазия и вулканическая активность позднего кайнозоя.

*а* - диаграмма глобальных изменений уровня океана в позднем кайнозое (циклы 2 и 3-го порядков) по данным (Hag et al., 1987); *б* - средняя встречаемость горизонтов вулканического пепла в осадочном чехле Мирового океана по данным глубоководного бурения (Кеннет, 1987).

нет, 1987). В частности, для обрамления Тихого океана по наземным данным в позднем кайнозое выделяют 4 крупных эпизода усиления вулканической активности: каскадный (четвертичное время), фиджийский (раннеплиоценовый), андийский (позднемиоценовый) и колумбийский (среднемиоценовый) (Кеннет, 1987). Несмотря на то, что эти эпизоды относятся лишь к тихоокеанскому региону, они нашли достаточно отчетливое выражение и в диаграмме средней частоты

встречаемости прослоев вулканических пеплов в осадочном чехле Мирового океана (рис.3, *а*), составленной Дж. Кеннетом по данным глубоководного бурения и характеризующей глобальные изменения эксплозивной вулканической активности (полного соответствия здесь, очевидно, ожидать трудно). Заметим, что кайнозойское время соответствует нисходящей ветви последнего эвстатического цикла первого порядка, т.е. неоген-четвертичное усиление вулкани-

# ГИДРОСФЕРНЫЕ ПРОЦЕССЫ И ЧЕТВЕРТИЧНЫЙ ВУЛКАНИЗМ



**Рис.4.** Изотопно-кислородные стадии плейстоцена и вулканическая активность.

*а* - периоды глобальных вспышек кислого вулканизма по данным (Мелекесцев, 1980; Эрлих, 1973); *б* - изотопно-кислородные диаграммы тихоокеанских колонок глубоководных осадков, по данным (Shackleton, Opdyke, 1973, Shackleton, 1976).

ческой активности происходило на фоне последовательного понижения уровня океана и изменения климатических условий в сторону похолодания.

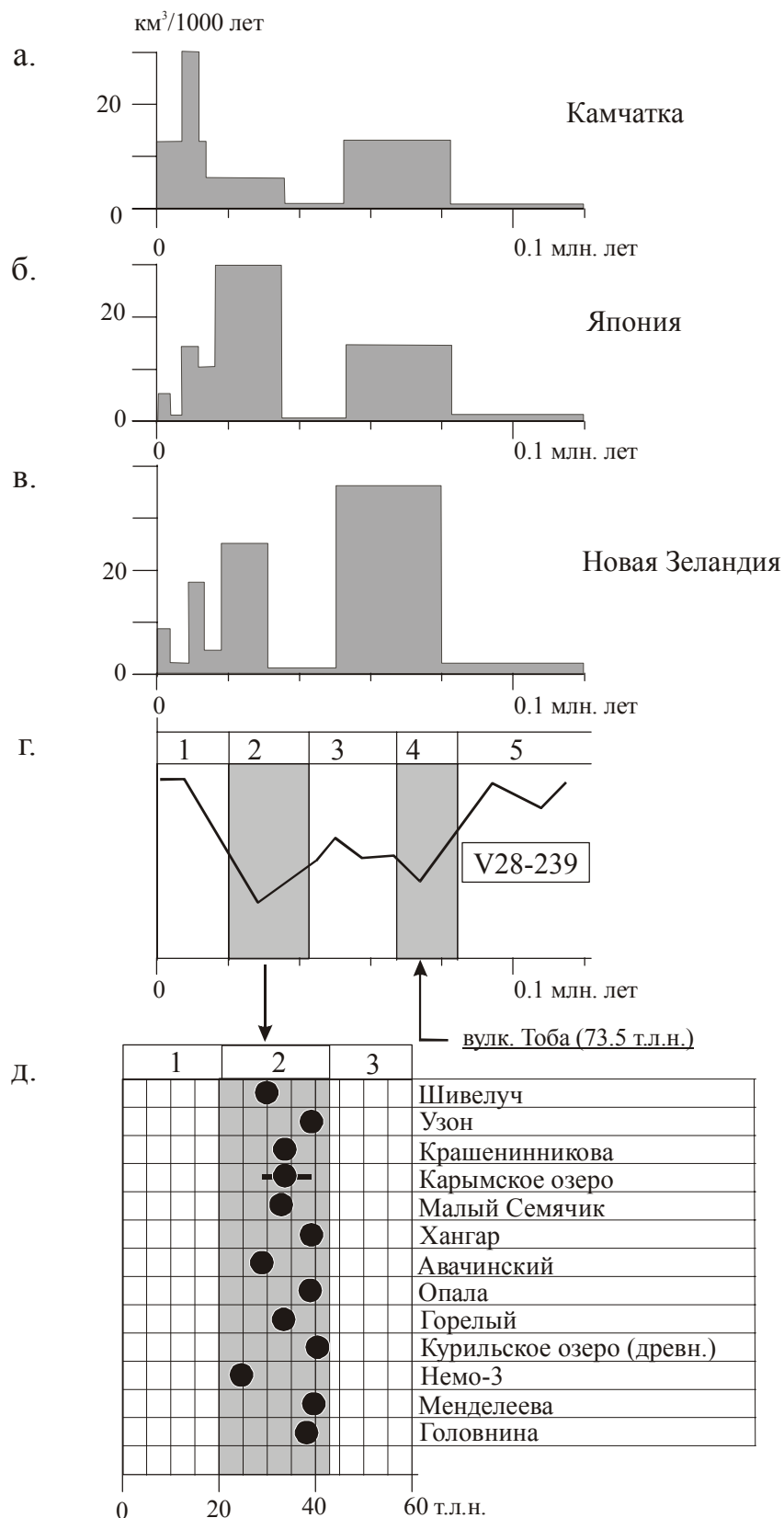
Детальность диаграммы распределения прослоев вулканических пеплов в осадочном чехле Мирового океана (рис.3, *б*) невысока и ограничена протяженностью отдельных биостратиграфических зон. Всё же сравнивая эту диаграмму с глобальной эвстатической диаграммой циклов 2-го и 3-го порядков (рис.3, *а*), можно заметить, что вспышки эксплозивной вулканической активности (в пределах биостратиграфических зон 22, 19-20, 14-16, 7-6 и на границе зон 9-10 и 12-13) тяготеют к участкам временной шкалы, где появляются экстремальные значения низкого уровня океана в циклах 3-го порядка, причем само появление этих экстремальных значений на эвстатической диаграмме, судя по изотопно-кислородным данным (Кеннет, 1987), обусловлено «вспышками» более высокочастотных, гляциоэвстатических циклов 4-го порядка (в плейстоцене, плиоцене, и, вероятно, в верхнем и среднем миоцене). Максимальное количество прослоев вулканических пеплов залегает в биостратиграфи-

чески нерасчленённом верхнеплиоцен-четвертичном разрезе морских осадков (биостратиграфическая зона №22, последние 1.8 млн. лет). Этому же отрезку времени, особенно второй его половине соответствует и главный всплеск гляциоэвстатической активности с максимальными по амплитуде колебаниями уровня океана (до 130-140 м).

Таким образом, прослеживается вполне определённая связь периодов усиления вулканической активности с проявлениями гляциоэвстатических колебаний уровня океана (циклов 4-го порядка). Как же соотносятся отдельные фазы этих гляциоэвстатических циклов с периодами усиления вулканической активности?

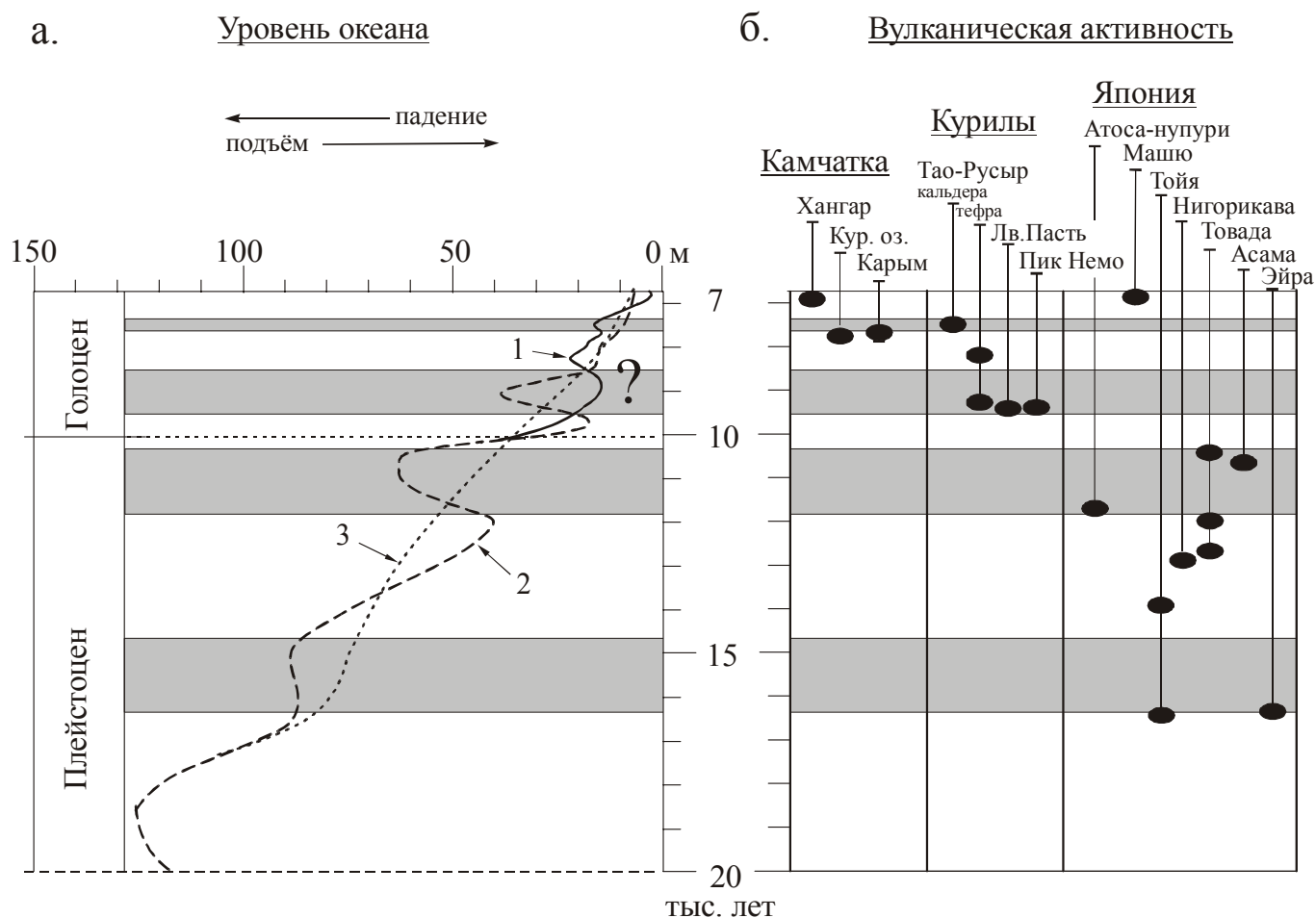
Судя по крупнейшим датированным вулканическим событиям плейстоцена, глобальное усиление эксплозивной вулканической активности в островных дугах с образованием гигантских кальдер и максимальными объёмами пирокластических покровов и игнимбритов, происходило в периоды гляциоэвстатических понижений уровня океана на величину 100-130 м относительно современного, т.е. в периоды

# СЕЛИВЕРСТОВ



**Рис.5.** Изотопно-кислородные стадии и вулканическая активность верхнего плейстоцена.

Сведения о вулканической активности приведены по данным (Мелекесцев, 1980; Мелекесцев и др., 1974; Эрлих, 1973; Braitseva et al., 1995; Rampiro, Self, 1992).



**Рис.6.** Эвстатические колебания уровня океана и крупнейшие вулканические события на Камчатке, Курилах и в Японии в конце плейстоцена начале голоцена.

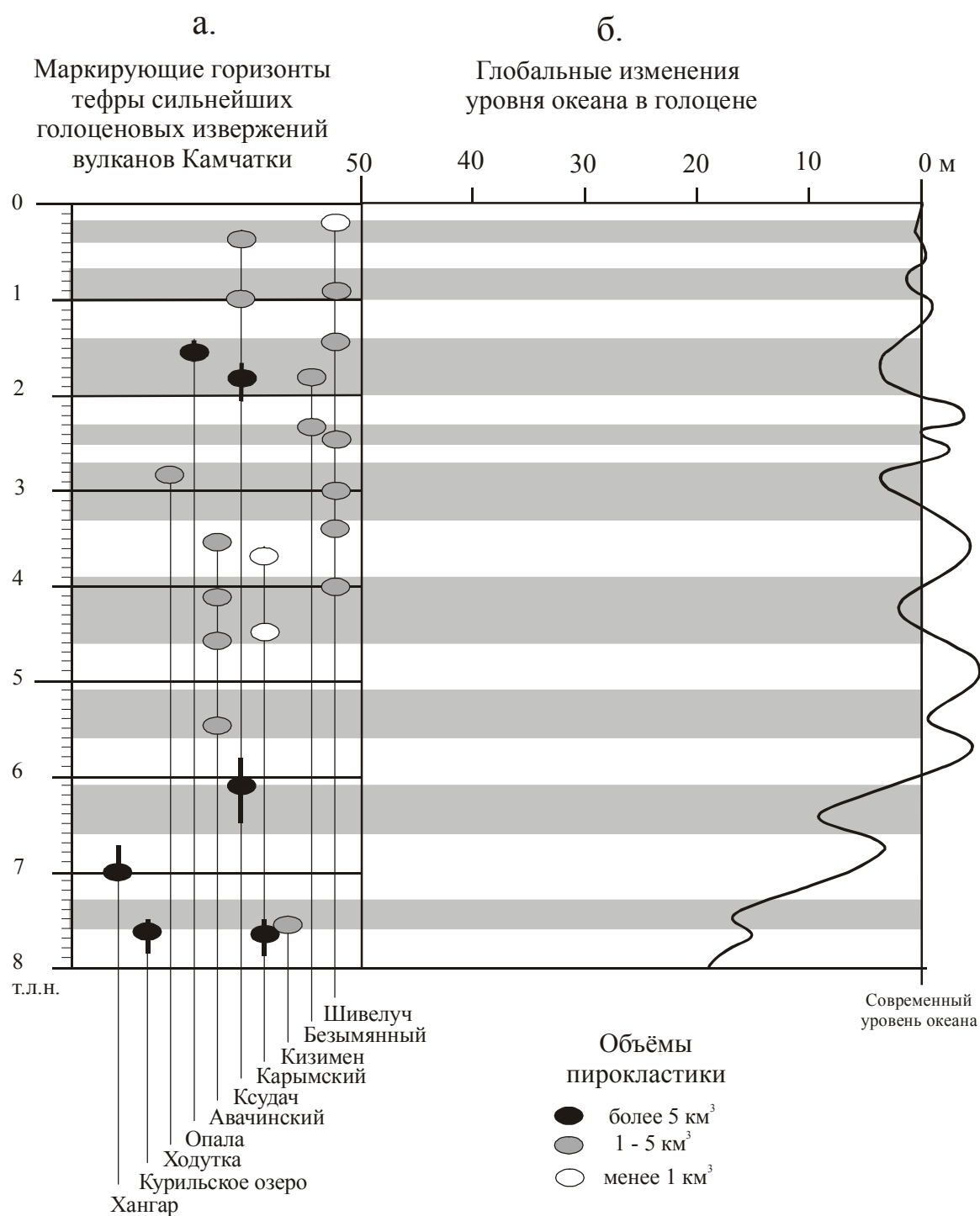
*a* - диаграммы изменений уровня океана в конце плейстоцена-голоцене (Кеннет, 1987); эвстатические диаграммы: 1 - Фейбриджа, 2 - Каррея, 3 - осредненная; *б* - датированные пирокластические покровы Камчатки, Курил и Японии (Мелекесцев, 1980; Эрлих, 1973).

максимальных оледенений суши, соответствующие четным стадиям изотопно-кислородной диаграммы Шеклтона-Опдайка. На рис.4 проиллюстрирована временная связь периодов глобальных вспышек кислого вулканизма (по данным (Мелекесцев, 1980; Мелекесцев и др., 1974; Эрлих, 1973)) с периодами плейстоценовых понижений уровня океана (четными изотопно-кислородными стадиями) для последних 500 тыс. лет.

Эта закономерная связь сохраняется и для отдельных регионов, в частности - по северному и западному обрамлению Тихого океана. На Аляске в ледниковые периоды, соответствующие трем последним чётным изотопно-кислородными стадиями (№№2, 4, и 6, соответственно 18-40, 70-90 и 125-190 тыс. лет назад), были образованы гигантские маары (Beget et al., 1997). На Камчатке, в Японии и Новой Зеландии в верхнем плейстоцене с чётными стадиями 2 и 4 связаны максимальные объёмы изверженных пород (рис.5, *а, б, в, г*). С этими ледниковыми стадиями на Камчатке и Кури-

лах, судя по датировкам и соотношению пирокластических покровов и игнимбритов с ледниковыми отложениями, связано образование кальдер Крашенинникова, Карымского озера, древнего Курильского озера, кальдер вулканов Авачинского, Шивелуча, Ксудача, Малого Семейчика, Горелого, Опалы, молодой кальдеры Узонско-Гейзерной депрессии, на о. Итуруп – кальдер Урбич, Цирк и Медвежья, на о. Симушир – кальдер древняя Заварицкого и Броутона, на о. Онекотан – кальдеры Немо, на о. Кунашир – кальдер Менделеева и Головнина (Мелекесцев, 1980; Мелекесцев и др., 1974; Эрлих, 1973; Braitseva et al., 1995). На рис.5, д представлено распределение наиболее поздних из этих событий, соответствующих последней четной изотопно-кислородной стадии (№2) верхнего плейстоцена (по данным радиоуглеродных датировок, опубликованных в работе (Braitseva et al., 1995)).

Необходимо отметить, что крупнейшее за весь плейстоцен извержение вулкана Тоба на о. Суматра (73,5 +/- 3,5 тыс.л.н.), с которым некоторые исследо-



**Рис.7.** Голоценовые колебания уровня океана и вулканизм Камчатки.

*а* - распределение основных маркирующих горизонтов тефры голоценовых извержений вулканов Камчатки по данным (Брайцева и др., 1985; Брайцева и др., 1997; Braitseva et al., 1995); *б* - диаграмма глобальных эвстатических изменений уровня океана в голоцене по Фейбриджу (Кеннет, 1987).

ватели связывают начало верхнеплейстоценового оледенения (Rampiro, Self, 1992; Ramaswamy, 1992), произошло в период низкого уровня океана (рис.5, *з*), т.е. уже в разгар верхнеплейстоценового ледникового периода, связанного с изотопно-кислородной стадией №4, и, очевидно, может рассматриваться лишь в качестве следствия, но не причины этого оледенения,

т.е. гигантское извержение вулкана Тоба, как и другие сильнейшие плейстоценовые извержения, были инициированы, вероятнее всего, глобальными климатическими изменениями и сопутствующими гидросферными процессами.

Около 18 тыс. лет назад началось верхнеплейстоцен-голоценовое повышение уровня океана, соответ-

ствующее восходящей ветви последнего цикла 4-го порядка. Монотонность этого процесса нарушалась более высокочастотной составляющей – эвстатическими циклами 5-го порядка продолжительностью от первых тысяч до нескольких сот лет. Судя по эвстатическим диаграммам Фейбриджа и Каррея, максимальные амплитуды этих колебаний (до 30-40 метров) отмечались в самом конце плейстоцена – начале голоцена (7-14 тыс. лет назад). На Камчатке, Курилах и в Японии этому периоду времени также соответствует вспышка вулканической активности (рис.6). В частности, в это время на Камчатке образовались кальдеры вулкана Карымский и Курильского озера, а на Курилах – кальдеры Тао-Русыр (о. Онекотан) и Львиная Пасть (о. Итуруп) (Мелекесцев и др., 1974; Эрлих, 1973). Привязать конкретные вулканические события конца плейстоцена – начала голоцена к отдельным фазам эвстатических циклов 5-го порядка пока невозможно из-за недостаточной точности радиоуглеродного метода и неоднозначности эвстатических диаграмм в пределах этого временного интервала. Однако на представленных на рис.6 диаграммах отчетливо видна широтная зависимость времени проявления сильнейших вулканических событий позднего плейстоцена – раннего голоцена: в Японии основная часть этих событий произошла в конце плейстоцена, а на Курилах и Камчатке – в начале голоцена. Возможно, что эта зависимость обусловлена процессом деградации плейстоценовых ледников, который на Камчатке завершился позднее, чем на Курилах и в Японии.

Для последних 8 тыс. лет голоценовой истории (рис.7) на эвстатической диаграмме Фейбриджа можно выделить 9 циклов 5-го порядка с амплитудой изменения уровня океана от первых до нескольких метров. В соответствии с этой диаграммой, понижения уровня океана соответствуют интервалы: 0.17-0.40, 0.65-1.0, 1.4-2.0, 2.3-2.5, 2.7-3.3, 3.9-4.6, 5.1-5.6, 6.1-6.6 и 7.3-7.6 тыс. лет назад. При сравнении этих интервалов с голоценовой историей вулканизма на Камчатке выявляется определённая закономерность: датировки не всех, но большинства сильнейших эксплозивных извержений по времени тяготеют к регрессивным стадиям в циклах 5-го порядка. В этом несложно убедиться, сравнив перечисленные интервалы времён с представленными на рис.7 датировками горизонтов тефры, используемых в качестве маркирующих при тефрохронологических исследованиях (Брайцева и др., 1985; Брайцева и др., 1997; Кирьянов и др., 1986; Braitseva et al., 1995). Эвстатическая диаграмма Фейбриджа основана на геоморфологических наблюдениях и данных радиоуглеродного датирования морских отложений из различных районов земного шара. Её сопоставление с радиоуглеродными

датировками тефры представляется вполне правомерным. Всё же важно подчеркнуть, что упомянутая выше связь сильнейших вулканических событий голоцена с определёнными фазами эвстатической диаграммы Фейбриджа не является бесспорной и нуждается в дополнительном экспериментальном подтверждении, поскольку фактическая точность радиоуглеродных датировок иногда сопоставима с периодами эвстатических циклов 5-го порядка.

В работе (Кирьянов и др., 1986) акцентировано внимание на приуроченности пепловых горизонтов в торфяниках о. Беринга к периодам голоценовых похолоданий, выявляемых по споро-пыльцевым диаграммам. Очевидно, что эти периоды ассоциируются с регрессивными стадиями голоценовых эвстатических циклов 5-го порядка.

#### О ВОЗМОЖНЫХ МЕХАНИЗМАХ ВЛИЯНИЯ ГЛОБАЛЬНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ УРОВНЯ ОКЕАНА НА ВУЛКАНИЧЕСКУЮ АКТИВНОСТЬ

Таким образом, мы приходим к выводу о тесной связи периодов усиления вулканической активности на Камчатке, Курилах и, по-видимому, в других островных дугах западной части Тихого океана с гляциоэвстатическими циклами 4-го и, вероятно, 5-го порядков, точнее – с регрессивными стадиями этих циклов. Судя по опубликованным данным, такая закономерность известна и для некоторых других регионов, расположенных в средних широтах и непосредственно граничащих с обширными акваториями Мирового океана. В частности, в Атлантическом океане на Азорских о-вах методами абсолютной геохронологии показано усиление вулканической активности в периоды низкого уровня океана в верхнем плейстоцене – голоцене (Guillou et al., 1998).

В то же время, для районов, несколько удалённых от океанов, в частности для Средиземноморья (McGuire, 1997), закономерная временная связь вспышек вулканизма с плейстоцен-голоценовыми регрессивными стадиями существует, но отмечается значительный сдвиг по фазе между этими явлениями. В районах же развития покровных оледенений, судя по данным бурения ледников Антарктиды и Гренландии, эта зависимость вообще становится обратной (Paterne et al., 1997). Эти факты, очевидно, свидетельствуют не в пользу распространённых представлений о том, что вулканическая активность является главной причиной глобальных изменений климата и, соответственно, глобальных гляциоэвстатических колебаний уровня океана. Нет оснований сомневаться в том, что крупные эксплозивные извержения способны вызвать сравнительно кратковременные региональные климати-

ческие изменения. Такие явления достоверно задокументированы для сильнейших исторических извержений вулканов: Лаки (1783 г.), Тамбора (1815 г.), Каракатау (1883 г.), Санта-Мария (1902 г.), Катмай (1912 г.), Пинатубо (1991 г.) и некоторых других извержений (McCormick, 1992; Self et al., 1981). Тем не менее, рассмотренные выше примеры закономерных связей между глобальными изменениями уровня океана и вулканической активностью по различным регионам Земли скорее указывают на правомерность иной точки зрения: глобальные изменения климата и связанные с ними глобальные изменения уровня океана существенно влияют на вулканическую активность.

Такая постановка вопроса не нова. Еще в 1972 г. Н.И. Николаев указал на возможный механизм такого влияния (Николаев, 1972). Его сущность заключается в проявлении гидроизостазии – изостатической реакции недр Земли (в том числе астеносферы и гидравлически связанных с ней магматических систем) на глобальные изменения уровня океана. Т.е. фактически предполагается, что изменения гидростатического давления на дно океана в процессе глобальных изменений его уровня достаточно быстро передаются через астеносферу островодужным и внутриплитовым магматическим системам. Исходя из этих представлений, можно указать, по крайней мере, на два фактора, способствующие процессам кальдерообразования и усилению эксплозивной вулканической активности в островных дугах в периоды резких гляциоэвстатических понижений уровня океана.

В районах, не подверженных покровным оледенениям, глобальное понижение уровня океана ведёт к сбросу давления в астеносфере (в предельном случае – на 10-12 бар) и должно сопровождаться соответствующим сбросом давления во всей системе гидравлически связанных с ней магматических очагов, в том числе периферических, находящихся на небольших глубинах, где снижение давления должно сопровождаться частичным оттоком магмы и её замещением водным флюидом. Такой процесс ведёт к росту касательных напряжений над периферическими очагами и способствует обрушению их кровли, т.е., в соответствии с существующими представлениями (Слэзин, 1987), может являться если не главной причиной, то «спусковым крючком» или, точнее, «дирижерской палочкой» для активизации кальдерообразующих движений и связанных с ними сильнейших извержений с частичным опустошением периферических очагов, образованием игнимбритов и мощных пирокластических покровов.

Известно, что растворимость водного флюида в магме возрастает с увеличением давления (Барабанов,

1985). Поэтому уменьшение давления в магматической системе должно вести к выделению свободного водного флюида из водонасыщенных магм в периферических очагах и верхних участках магматических колонн. Кроме того, сброс давления в магматических системах ведёт к нарушению установившегося водно-флюидного равновесия между магмой и вмещающими горными породами, способствуя дополнительному обогащению магм свободным водным флюидом. Иначе говоря, в периоды понижения уровня океана в верхних частях магматических систем, непосредственно влияющих на вулканическую активность, повышается относительное содержание свободного водного флюида, что ведёт к некоторому снижению плотности магм и увеличению их эксплозивности. По-видимому, этот процесс весьма чувствителен даже к сравнительно небольшим колебаниям давления в магматической колонне и способен привести к резкому усилению эксплозивной активности вулканов в регрессивные стадии циклов не только 4-го, но и 5-го порядка. Не исключено, что сходные гидромагматические процессы, приводящие к эксплозивным извержениям, могут происходить и при снятии упругих напряжений в ходе сильнейших сейсмических событий вблизи магматических очагов. Примеры такой последовательности проявления сейсмичности и вулканизма хорошо известны. Последний из них – одновременные извержения вулканов Карымского и в кальдере Академии Наук на Камчатке в начале января 1996 г., которые последовали сразу после близкого сильного землетрясения (Федотов, 1997).

Необходимо отметить, что в районах развития покровных и мощных горно-долинных плейстоценовых оледенений гляциоэвстатические колебания уровня океана сопровождались резкими изменениями массы льда на суше. Здесь характер влияния гидросферных процессов на магматические системы должен был определяться соотношением противоположных по знаку явлений гидро- и гляциоизостазии, т.е. в значительной мере зависеть от динамики роста и деградации ледников. Тем не менее, на Камчатке и в других районах развития мощных плейстоценовых горно-долинных оледенений отмечается всё та же закономерная связь крупнейших вулканических событий с регрессивными стадиями плейстоцена. Можно указать, по крайней мере, на три фактора, объясняющих эту закономерность.

Во первых, изостазия не проявляется локально вследствие высокой эффективной жесткости литосферы. Заметная изостатическая реакция от изменения ледниковой нагрузки достижима лишь для значительных по величине территорий, поперечные размеры которых измеряются сотнями километров (Николаев, 1988).

Т.е., несмотря на значительную мощность отдельных ледников, суммарная гляцио-изостатическая составляющая на территории такого размера может оказаться по величине заметно меньше гидроизостатической составляющей.

Во-вторых, региональные проявления гляцио-изостазии весьма инерционны. Время проявления компенсационных изостатических движений при изменении ледниковой нагрузки достигает первых десятков тысяч лет (Николаев, 1988). Иными словами, проявления гляциоизостазии в районах горно-долинных оледенений по фазе могут заметно отставать от изменений давления в астеносфере, обусловленных глобальными изменениями уровня океана.

И, наконец, в-третьих, интенсивнейшая эрозионная деятельность ледников, их собственный рост и деградация ведут к перераспределению нагрузки на земную поверхность и, вероятно, могут оказывать самостоятельное деструктивное воздействие на неглубоко залегающие периферические очаги. Действительно, перераспределение нагрузки на земную поверхность неизбежно сопровождается активизацией блоковых движений в верхней части земной коры. Очевидно, что блоковые движения в кровле неглубокого периферического очага способны спровоцировать её разрушение, следствием которого может быть сильнейшее кальдерообразующее извержение. Возможно, что перечисленные выше экзогенные факторы оказали заметное влияние на эксплозивную активность вулканов Камчатки в конце плейстоцена – начале голоцена и обусловили отмеченное выше запаздывание сильнейших вулканических событий этого периода на Камчатке по сравнению с событиями подобного масштаба в более южных районах - на Курилах и в Японии.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотренные выше временные связи между изменениями уровня океана и периодами глобального усиления вулканической активности в позднем кайнозое дают основания предполагать, что эпизодичность позднекайнозойского вулканизма обусловлена, в первую очередь, прогрессирующим развитием высокоамплитудных колебаний в системе ледники-океан-атмосфера, достигших максимальных значений в четвертичное время.

Механизм влияния гидросферных процессов на вулканическую активность состоит, вероятнее всего, в проявлении гидро- и гляциоизостазии: изостатической реакции астеносферы на изменения водной и ледниковой нагрузки на поверхность литосферы. Уменьшение этой нагрузки ведёт к соответствующему сбросу давления в подстилающих участках астено-

сферы и гидравлически связанных с ними магматических системах, в том числе - в неглубоких периферических очагах. Сброс давления в периферических очагах во время резких гляциоэвстатических понижений уровня океана является, вероятно, главной причиной активизации кальдерообразующих движений и связанных с ними наиболее крупномасштабных проявлений эксплозивного вулканизма в периоды четных изотопно-кислородных стадий плейстоцена.

В заключении обратим внимание на то, что два рассмотренных выше глобальных процесса (понижение уровня океана и эксплозивная вулканическая активность) имеют положительную обратную связь, т.е. усиление одного из них способствует усилению другого. По-видимому, это взаимное влияние следует учитывать при оценке роли вулканизма в колебательных процессах системы ледники-океан-атмосфера и, соответственно, в глобальных изменениях климата Земли.

Автор выражает искреннюю благодарность О.А. Брайцевой и В.Ю. Кирьянову за ценные замечания и пожелания.

## ЛИТЕРАТУРА

- Барабанов В.Ф. Геохимия. Л.: Недра, Л.о., 1985. 423 с.
- Брайцева О.А., Кирьянов В.Ю., Сулержицкий Л.Д. Маркирующие прослои голоценовой тефры восточной вулканической зоны Камчатки // Вулканология и сейсмология. 1985. №5. С. 80-96.
- Брайцева О.А., Сулержицкий Л.Д., Пономарёва В.В., Мелекесцев И.В. Геохронология крупнейших эксплозивных извержений Камчатки в голоцене и их отражение в Гренландском ледниковом щите // Доклады РАН. 1997. Т. 352. №4. С. 516-518.
- Вейл П.Р., Митчем Р.М., Тодд Р.Г., Уидмайер Дж.М., Томпсон С., Сангри Дж.Б., Бабб Дж.Н., Хетлелид В.Г. Сейсмостратиграфия и глобальные изменения уровня моря // Сейсмическая стратиграфия. М.: Мир, 1982. Ч.1. С.104-373.
- Каррей Дж. Позднечетвертичная история материковых шельфов США. // Четвертичный период в США. М.: Мир, 1968. Т.1. С.451-472.
- Кеннет Дж. П. Морская геология. М.: Мир, 1987. Т. 1. 396 с.
- Кинг Ф. Тектоническое развитие средней части Северной Америки в четвертичном периоде // Четвертичный период в США. М.: Мир, 1968. Т.1. С.613-666.
- Кирьянов В.Ю., Егорова И.А., Литасова С.Н. Вулканические пеплы на о-ве Беринга (Командорские острова) от голоценовых извержений Камчатки // Вулканология и сейсмология. 1986. №6. С. 18-28.

- Мелекесцев И.В.* Вулканизм и рельефообразование. М.: Наука, 1980. 212 с.
- Мелекесцев И.В., Брайцева О.А., Эрлих Э.Н., Шанцер А.Е., Челебаева А.И., Лупкина Е.Г., Егорова И.А., Кожемяка Н.Н.* Камчатка, Курильские и Командорские острова. История развития рельефа Сибири и Дальнего Востока. М.: Наука, 1974. 439 с.
- Николаев Н.И.* Эвстазия, изостазия и вопросы неотектоники // Вестник МГУ, сер. геологич. 1972. №1. С. 6-22.
- Николаев Н.И.* Новейшая тектоника и геодинамика литосферы. М.: Недра, 1988. 491 с.
- Селиверстов Н.И.* Подводные террасы и новейшие тектонические движения шельфа Восточной Камчатки // Вулканология и сейсмология. 1996. №3. С. 33-52.
- Селиверстов Н.И.* Глобальные изменения уровня океана и четвертичный вулканизм // Вулканология и сейсмология. 2001. №5. С. 22-31.
- Слэзин Ю.Б.* Механизм опустошения очага при образовании кальдер // Вулканология и сейсмология. 1987. №5. С. 3-15.
- Ушаков С.А., Ясманов Н.А.* Дрейф материков и климаты Земли. М.: Мысль, 1984. 206 с.
- Федотов С.А.* Об извержениях в кальдере Академии Наук и Карымского вулкана на Камчатке в 1996 г., их изучении и механизме // Вулканология и сейсмология. 1997. №5. С. 3-37.
- Харпенд У.Б., Кокс А.В., Ллевеллин П.Г., Пиктон К., Смит А.Г., Уолтерс Р.* Шкала геологического времени. М.: Мир, 1985. 140 с.
- Цейнер Ф.* Плейстоцен. М.: Изд-во ИЛ, 1963. 502 с.
- Эрлих Э.Н.* Современная структура и четвертичный вулканизм западной части Тихоокеанского кольца. Новосибирск: Наука, СО, 1973. 242 с.
- Beget J.E., Layer P., Flowers B.* Tephrochronology and geochronology of the largest maars on Earth, Northern Alaska // Volc. Activity and Environ. Abstr. IAVCEI. Mexico, 1997. P.21.
- Braitseva O.A., Melekestsev I.V., Ponomareva V.V., Sulerzhitsky L.D.* Ages of calderas, large explosive craters and active volcanoes in the Kuril-Kamchatka region, Russia // Bull. Volcanol. 1995. V.57. P. 383-402.
- Guillou H., Carracedo J.C., Day S.J.* Dating of the Upper Pleistocene–Holocene volcanic activity of La Palma using the unspiked K–Ar technique // Journal of Volcanology and Geothermal Research. 1998. V. 86. P. 137–149.
- Hag B.U., Hardenbol K., Vail P.R.* Chronology of Fluctuation Sea levels since the Triassic // Science. 1987. V. 235. P. 1156-1166.
- Hays J.D., Imbrie J., Shackleton N.J.* Variations in the Earth's Orbit: pacemaker of the Ice Ages // Science. 1976. V. 194. P. 1121-1132.
- McCormick M.P.* Initial assessment of the stratospheric and climatic impact of the 1991 Mount Pinatubo eruption prologue // Geophys. Res. Lett. 1992. V. 19 No 2. P.149.
- McGuire W.I.* Increased explosive volcanic activity due to late quaternary sea-level changes // Volc. Activity and Environ. Abstr. IAVCEI. Mexico. 1997. P. 33.
- Paterne N., Labeyrie J., Mazaud A., Arnold M., Guichard F., Duplessy J.C.* Volcanic series in ice and marine cores synchronous fluctuations over the past 100 kyr. // Volc. Activity and Environ. Abstr. IAVCEI. Mexico. 1997. P. 33.
- Rampiro M.R., Self S.* Volcanic winter and accelerated glaciation following the Toba super eruption // Nature (London). 1992. V. 359. No 6390. P. 50-58.
- Ramaswamy V.* Explosive start to last ice age. // Nature (London). 1992. V. 359. No 6390. P. 44-50.
- Self S., Rampiro M.R., Barbera J.J.* The possible effects of large 19<sup>th</sup> and 20<sup>th</sup> Century volcanic eruptions on zonal and hemispheric surface temperatures // Journal of Volcanology and Geothermal Research. 1981. V.11. P. 41–60.
- Shackleton N.J., Opdyke N.D.* Oxygen isotope and paleomagnetic stratigraphy of equatorial Pacific core V28-238: Oxygen isotope temperatures and ice volumes on a 10 and 10 year scale // Quaternary Res. 1973. No 3. P.39-55.
- Shackleton N.J., Opdyke N.D.* 1976. Oxygen isotope and paleomagnetic stratigraphy of Pacific Core V.28-239. Late Pliocene to Latest Pleistocene // Geol. Soc. Amer. Mem. 1976. V. 145. P. 449-464.

**Hydrospheric Processes and the Quaternary Volcanism**

**N. I. Seliverstov**

*Institute of Volcanology and Seismology, Far East Division, Russian Academy of Sciences,  
Petropavlovsk-Kamchatskii, 683006, Russia*

Time associations have been examined between periods of global and regional increases in explosive volcanic activity during Late Cenozoic time and eustatic cycles of various orders. We show a close association to exist between major Pleistocene volcanic events and regressive phases of 4th order glacioeustatic cycles and demonstrate a correlation between major Holocene volcanic eruptions in Kamchatka and 5th order eustatic cycles. Possible mechanisms are examined responsible for the effects of global hydrospheric processes on explosive volcanic activity. It is hypothesized that activation of caldera-generating movements and related major manifestations of explosive volcanism during Pleistocene glacial periods was caused by pressure drops in magmatic systems as a result of glacioeustatic sea level lowerings during these periods.