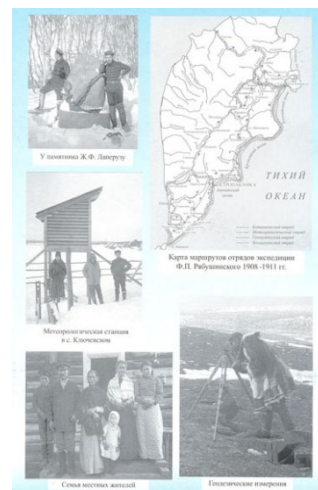


МАТЕРИАЛЫ
Всероссийской научной конференции
100-летие Камчатской экспедиции
Русского географического общества 1908-1910
гг.

Петропавловск-Камчатский, 2009



© ИВиС ДВО РАН,
2009 © Электронный
вариант подготовлен в
ИВЦ ИВиС ДВО РАН

ISBN 978-5-902424-01-7 УДК 551.21+550.34+(908+57)(571.66)

В сборнике помещены материалы докладов, представленных на Всероссийской научной конференции «100-летие Камчатской экспедиции Русского географического общества», которая прошла 21-28 сентября 2008 г. в г. Петропавловске-Камчатском. В работе конференции приняли участие более 140 специалистов. В сборнике представлено 32 доклада по различным областям знаний: истории исследований, геологическому и биологическому направлениям, а также по современным проблемам жизни Камчатского края. Ряд докладов имеет отчетливо прикладной характер, в них рассматриваются вопросы, связанные с программой социально-экономического развития Камчатского края.

Для геологов, биологов, географов, этнографов, широкого круга читателей.

Утверждено к печати Ученым советом Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН

Редакционная коллегия: академик Е.И. Гордеев (ответственный редактор), к.г.-м.н. В.Л. Леонов, к.г.н. Я.Д. Муравьев, В.А. Рашидов

На обложке помещены фотографии из архива Камчатской экспедиции Русского географического общества, отреставрированные А.В. Шевченко (ИВиС ДВО РАН)

- **Гордеев Е.И., Леонов В.Л.** Всероссийская научная конференция "100-летие Камчатской экспедиции Русского географического общества". Петропавловск-Камчатский, 22-27 сентября 2008г. [pdf](#)
- **Зайцева Н.А., Котляков В.М.** Столетний юбилей Камчатской Экспедиции Русского географического общества (экспедиции Рябушинского, 1908-1910гг.). [pdf](#)
- **Журавлев Ю.Н.** Зоологический аспект экспедиции Ф.П. Рябушинского: посевы и всходы. [pdf](#)
- **Добрецов Н.Л.** Геодинамические проблемы и моделирование зон субдукции. [pdf](#)
- **Ларин В.Л., Тураев В.А.** Этнокультурное пространство тихоокеанской России: триста лет эволюции. [pdf](#)
- **Воронов Б.А., Махинов А.Н.** Современное состояние водных ресурсов Дальнего Востока и их антропогенное преобразование. [pdf](#)
- **Гаращенко Ю.А.** Природные ресурсы Камчатского края и их роль в социально-экономическом развитии региона. [pdf](#)
- **Сущева М.В.** Интеграция вузовской и академической науки на Камчатке. [pdf](#)
- **Викулин А.В., Акманова Д.Р., Афанасенко С.И., Иванчин Г.А., Осипова Н.А., Фадин В.В.** Новый тип упругих волн в географических средах. [pdf](#)
- **Викулин А.В., Викулина С.А.** Экспедиция Рябушинского и становление [pdf](#)

сейсмологии и демократии на Камчатке.

- **Гавриленко Г.М., Мельников Д.В., Овсяников А.А.** Современное состояние термального озера в активном кратере вулкана Горелый (Камчатка) [pdf](#)
- **Герасимов Ю.Н., Герасимов Н.Н.** Исследования миграций птиц Камчатки. [pdf](#)
- **Двигало В.Н., Свирид И.Ю., Шевченко А.В.** Возрождение коллекции фото и фототеодолитных снимков геологического отдела Камчатской экспедиции Ф.П. Рябушинского 1908-1910 гг. [pdf](#)
- **Иванов В.В.** Оценка эффективности и планирование сейсмологической сети для изучения вулканического дрожания на камчатских вулканах для исследования их магматической, вулканической активности и прогноза извержений. [pdf](#)
- **Ившин В.М., Ившина Е.В.** Геомеханический способ прогноза цунами в зоне островных дуг. [pdf](#)
- **Калачева Е.Г., Кузьмина А.А.** Верхне-Щапинские термальные источники: условия формирования и химический состав. [pdf](#)
- **Карданова О.Ф.** Некоторые особенности образования протобокситового вещества на термальных полях Кихпиньинского долгоживущего вулканического центра, Камчатка. [pdf](#)
- **Кириухин А.В.** Исследования тепломассопереноса в высокотемпературных гидротермальных системах. [pdf](#)
- **Колосков А.В.** Особенности проявления позднекайнозойского магматизма на Восточно-Азиатской окраине в рамках концепции "вихревой геодинамики". [pdf](#)
- **Копылова Г.Н.** Гидрогеологический метод поиска предвестников землетрясений на Камчатке. [pdf](#)
- **Кугаенко Ю.А., Салтыков В.А.** Первые шаги к организации сейсмического мониторинга Долины Гейзеров. [pdf](#)
- **Леликов Е.П., Емельянова Т.А.** Геология подводного хребта Витязя на тихоокеанском склоне Курильской островной дуги. [pdf](#)
- **Лупкина Е.Г.** Биоценозы и тафценозы диатомовых водорослей Карымского озера (Камчатка) в посткатастрофический период(1996-2008гг.). [pdf](#)
- **Манухин Ю.Ф., Петров М.А.** Ресурсная база санаторно-курортного строительства в Камчатском крае. [pdf](#)
- **Рашидов В.А.** История изучения подводных вулканов Курильской островной дуги. [pdf](#)
- **Руленко О.П.** Новый подход в обнаружении оперативного предвестника землетрясений в электричестве приземной атмосферы. [pdf](#)
- **Самкова Т.Ю.** Закономерности связи между интенсивностью современного гидротермального процесса, морфологическим строением почв и структурой растительного покрова (на примере термальных полей Паужетской гидротермальной системы). [pdf](#)
- **Сметанин А.Н.** Пяденицы (Geometridae, Lepidoptera) Камчатки по материалам исследований Первой Камчатской экспедиции 1908-1910гг. [pdf](#)
- **Смирнов С.Э., Назарев В.П.** 40 лет магнитных обсерваторских наблюдений на Камчатке. [pdf](#)
- **Сторчеус А.В.** К вопросу о механизме вулканических взрывов. [pdf](#)
- **Хаткевич Ю.М., Кузьмин Ю.Д., Рябинин Г.В.** Современное состояние гидрогеохимических наблюдений на Камчатке, проводящихся с целью изучения реакции подземных водно-газовых систем на геофизические воздействия. [pdf](#)
- **Широков В.А.** Разработка моделей подготовки сильных землетрясений и [pdf](#)

вулканических извержений на основе изучения их связи с космическими ритмами.

- **Широков В.А., Серафимова Ю.К.** Прогноз сильных землетрясений и вулканических извержений для отдельных регионов Тихоокеанского тектонического пояса на ближайшие 20 лет.

НОВЫЙ ТИП УПРУГИХ ВОЛН В ГЕОФИЗИЧЕСКИХ СРЕДАХ

Викулин А.В.¹⁻³, Акманова Д.Р.¹, Афанасенко С.И.⁴ Иванчин Г.А.⁵, Осипова Н.А.¹,
Фадин В.В.⁶

¹Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский;
e-mail: vik@kscnet.ru;

²Камчатский государственный университет им. Витуса Беринга,
Петропавловск-Камчатский;

³Камчатский государственный технический университет, Петропавловск-Камчатский;

⁴Научно-производственное объединение ЗАО «ИТОМАК», Новосибирск,

⁵Торговый Дом «Музыка», Томск;

⁶Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Томск.

Введение

Геофизическая и геологическая среды являются блоковыми и/или блоково-плитовыми (Пейве, 1961; Садовский, 2004). Физически это означает, что земную кору, литосферу (и всю мантию), в принципе, нельзя рассматривать как сплошное твердое тело. В основном, по двум причинам. Во-первых, даже в отсутствие внешних сил нормальные и/или касательные напряжения в блоковой среде на границах блоков изменяются скачками и, тем самым, создают условия для «самопроизвольного» движения блоков относительно друг друга. Другими словами, блоковое тело способно деформироваться «само собой» без приложения внешних сил и потому, по определению, не может считаться твердым. Во-вторых, блоковая среда не может быть разделена на достаточно малые части с тем, чтобы принятыми в классической механике твердого тела методами задачу движения всего тела можно было бы свести к задаче движения большого количества материальных точек, связанных между собой упругими пружинками.

Геофизическая (геологическая) среда является вращающейся средой. Значение и направление угловой скорости не зависят от выбора положения начала координат, к которому может быть отнесено вращение «эффективно твердого» тела. Поэтому можно говорить об угловой скорости вращения такого тела без указания на это начало, что позволяет макроскопические по размерам геофизические блоки и плиты считать объемами с собственными моментами, а их совокупность, по сути - средой в смысле А.В. Пейве (1961) – Л.И. Седова (1973) – М.А. Садовского (2004). Величины моментов блоков и плит в такой (блоковой вращающейся) среде не должны зависеть от их размеров.

Таким образом, геологические и геофизические данные и данные физики твердого тела приводят нас к специфической задаче о поле упругих напряжений во вращающейся блоковой среде (Викулин, 1990, 2003; Vikulin, 2006).

Задача о поле напряжений в геофизической блоковой среде

Постановка задачи. Для блоковых геофизических нелинейных сред (Гольдин, 2003; Проблемы..., 2003; Островский, 2005; Садовский, 1985, 2004) в рамках классической теории упругости с симметричным тензором напряжений (Ландау, Лифшиц, 2003) была поставлена и аналитически решена задача о поле напряжений во вращающемся с угловой скоростью Ω твердом теле вокруг упругосвязанного с ним небольшого поворачивающегося под действием внутренних источников макрообъема V (Викулин, 1990; Викулин, Иванчин, 1997, 1998; Vikulin, 2006). Основная идея решения такой задачи заключается в том, что когда блок упруго сцеплен с окружающей его средой, изменение за счет внутренних источников направления момента импульса макрообъема приводит к появлению вокруг него упругих напряжений, которые в силу законов сохранения имеют момент силы.

Решение задачи. Определялось поле упругих напряжений U , возникающее в бесконечной вращающейся с угловой скоростью Ω среде вокруг блока шаровой формы

радиуса R_0 , как решение уравнения упругого равновесия в области $r \geq R_0$ с нулевыми граничными условиями на бесконечности, с действующей на блок силой, равной нулю, и моментом силы, не зависящим от размера блока R_0 . Решение для момента силы упругого поля K , направленного перпендикулярно плоскости его поворота, величины упругой энергии поля W , поля смещений U и напряжений σ в сферической системе координат (r, θ, φ) получено в виде (Викулин 2008а, 2008б; Викулин, Иванчин, 1997, 1998; Vikulin, 2006):

$$K = -6\pi^2 \Omega R_0^4 \sqrt{\frac{\rho}{15G}} \sin \beta / 2, \quad (1)$$

$$W = \frac{16}{15} \pi \rho \Omega^2 R_0^5 \sin^2 \beta / 2, \quad (2)$$

$$U_r = U_\theta = 0, \quad U_\varphi = \Omega R_0^4 r^{-2} \sqrt{\frac{\rho}{15G}} \sin \theta \sin \beta / 2, \quad (3)$$

$$\sigma_{r\varphi} = \sigma_{\varphi r} = \frac{3}{2} \Omega R_0^4 r^{-3} \sqrt{\frac{\rho G}{15}} \sin \theta \sin \beta / 2. \quad (4)$$

Остальные компоненты напряжений равны нулю.

Оценки показывают (Викулин, 2003; Викулин, Иванчин, 1998), что при продолжительности сейсмического цикла (повторяемости сильнейших землетрясений в одном месте) 100-1000 лет для скорости поворота блока получаем механическую (модельную) оценку:

$$\beta \approx 10^{-(4 \pm 6)} \text{ град/год}, \quad (5)$$

которая близка к геологическим скоростям вращения Исландии, микроплит Наска и Хуан-Фернандос и других блоков и плит земной коры (Викулин, Тверитинова, 2007; Вихри..., 2004; Ротационные..., 2007).

Дальнейшее действие ротационного упругого поля. В модели двух блоков, расположенных друг от друга на расстоянии l , получено аналитическое выражение для энергии W_{int} и момента силы K_{int} взаимодействия блоков. Полагая блоки равновеликими, получаем:

$$\frac{K_{int}}{K} = \frac{\Omega R_0}{V_S} \left(\frac{R_0}{l} \right)^3 \frac{\sin \phi}{\sin \beta / 2} \approx \frac{V_R}{V_S}, \quad (6)$$

где $V_S = \sqrt{G/\rho}$ и $V_R = \Omega R_0$ - скорость поперечной упругой волны и центробежная скорость соответственно. Из соотношения (6) видно, что ротационные эффекты становятся тем значимее, чем больше размер блока R_0 и чем с большей скоростью Ω вращается тело.

Отношение энергии взаимодействия W_{int} к собственной энергии блока W (2) в случае равновеликих блоков определяется равенством:

$$\frac{W_{int}}{W} = \frac{45}{32} \left(\frac{R_0}{l} \right)^3 \frac{\cos \phi}{\sin^2 \beta / 2} = \delta. \quad (7)$$

Откуда видно, что максимальное ($\cos \phi = 1$) расстояние Λ , на котором энергия взаимодействия W_{int} будет по порядку величины близка собственной энергии W блока ($\delta = 1$), определится из выражения:

$$\Lambda \approx 2\beta^{-2/3}R_0 \approx (10^2 \div 10^3)R_0, \quad (8)$$

в котором значение угла поворота блока в соответствии с (5) было принято $\beta \approx 10^{-4}$ рад. Из соотношения (8) видно, что упругие поля, создаваемые вокруг поворачивающихся внутри вращающегося тела блоков, распространяются на расстояния, на два – три порядка превышающие размеры блоков. Другими словами, описанное выше ротационное упругое поле является дальнедействующим.

Однородная цепочка взаимодействующих блоков (на примере окраины Тихого океана).

Рассмотрим случай, когда все блоки в цепочке движутся равномерно. Тогда, в соответствии с полученными выше результатами, уравнение для движения блока в цепочке можно записать в виде:

$$I \frac{d^2\beta}{dt^2} = K_1 + K_2,$$

где β - как и прежде, угол, на который повернулся блок в результате подготовки землетрясения, I – его момент инерции, K_1 - «собственный» момент силы поля упругих напряжений вокруг блока в результате его поворота, K_2 - момент силы, отвечающий за взаимодействие рассматриваемого блока с остальными блоками цепочки.

В безразмерных координатах $\xi = k_0x$, $\eta = c_0k_0t$ уравнение движения блока имеет вид:

$$\frac{\partial^2\theta}{\partial\xi^2} - \frac{\partial^2\theta}{\partial\eta^2} = \sin\theta, \quad (9)$$

где $\theta = \beta/2$, x - координата вдоль сейсмического пояса, t – время, k_0 - волновое число, c_0 - характерная скорость сейсмического процесса, протекающие в пределах сейсмического пояса, которые, определяются из следующих соотношений:

$$k_0^2 = \frac{3\pi\Omega}{wV} \left(\frac{3V}{4\pi} \right)^{4/3} \sqrt{\frac{\rho G}{15}}, \quad (10)$$

$$c_0^2 = wV / I. \quad (11)$$

где W – линейная плотность упругой энергии в сейсмическом поясе.

Уравнение (9) известно как уравнение синус-Гордона (СГ). Отличительной особенностью полученного нами СГ уравнения является то, что определяемые нелинейными свойствами твердой геофизической среды постоянные k_0 (10) и c_0 (11) оказались зависимыми от угловой скорости вращения тела (Земли).

Характерная скорость процесса. Для значения характерной скорости волнового процесса в цепочке взаимодействующих блоков c_0 получаем следующее выражение (Викулин, 2003):

$$c_0^2 = \frac{3\sqrt{15}}{8\pi^2} \Omega R_0 \sqrt{\frac{G}{\rho}} \approx V_R V_S \quad (12)$$

или при принятых выше (Викулин, Иванчин, 1998) параметрах модели:

$$c_0 \approx 1-10 \text{ см/сек.} \quad (13)$$

Здесь $V_s = \sqrt{G/\rho}$ - поперечная скорость упругих волн, $V_R = \Omega R_0$ - центробежная скорость.

Геодинамические ротационно-упругие волны

Миграция землетрясений. Была продолжена работа по определению скоростей миграций землетрясений в диапазоне максимальных значений магнитуд $8,0 < M \leq 9,0$ (Осипова, 2007, 2008). Данные представлены на рис. 1.

Видно, что новые данные, полученные в работах (Осипова, 2007, 2008), дополняют ранее полученные данные (Викулин, 2001, 2003; Викулин, Иванчин, 1998).

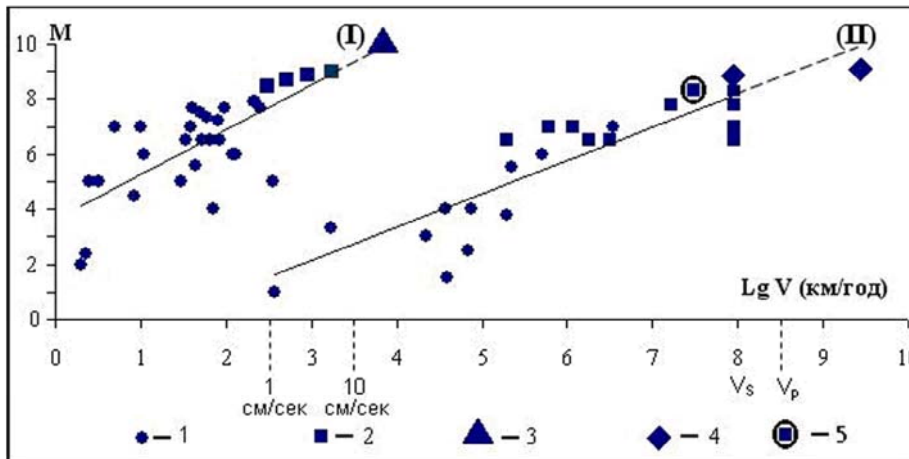


Рис. 1. Значения скоростей миграции тихоокеанских землетрясений и определенные по ним зависимости $M(LgV)$. 1 – данные, полученные ранее (Викулин, 2001, 2003; Викулин, Иванчин, 1998); 2-5 – более поздние данные, полученные в (Викулин и др., 2007; Осипова, 2007, 2008), 3 – скорость миграции сильнейших землетрясений-дуплетов с $M_W = 8,1-8,7$ в 1897-1901 гг. вдоль окраины Тихого океана; 4 – скорости миграции толчков в дуплетах 4.11.1952, Камчатка, $M_W = 9,0$ и 13.11.1963 Курилы, $M_W = 8,7$ (Викулин, 2003; Викулин, Чернобай, 1986а, б); 5 – скорость миграции, соответствующая максимальному значению магнитуды форшока $M = 8,3$, которым за 40 сек предвещался основной толчок Чилийского землетрясения 1960, $M = 8,3$, $M_W = 9,5$ (Duda, 1963); $V_p \approx 8$ км/сек и $V_s \approx 4$ км/сек – продольная и поперечная сейсмические скорости соответственно. (I) и (II) – зависимости магнитуды от скорости «глобальной миграции» вдоль окраины Тихого океана $M_1(LgV_1)$ и скорости «локальной» миграции форшоков и афтершоков в очагах сильных землетрясений $M_2(LgV_2)$ соответственно.

Зависимость магнитуд землетрясений от скоростей их миграций $M(V)$, определенная в диапазоне магнитуд $2 < M \leq 9$, имеет вид:

$$M_1 = 2LgV_1 + 4 \quad (14)$$

При этом новое предельное значение скорости миграции составляет:

$$V_{I, \max} \approx 10 \text{ см/сек.}$$

Как видим, новые данные, представленные на рис. 1, дополняют и уточняют наши представления о миграции землетрясений (13), что выражается равенством

$$c_0 = V_{I, \max}.$$

Миграция форшоков и афтершоков. На основании исследования форшоков и афтершоков в очагах наиболее сильных тихоокеанских землетрясений в Чили 1960, $M_W = 9,5$ и на Алеутских островах 1957, $M_W = 8,8$; 1964, $M_W = 9,0$ и 1965, $M_W = 8,7$ получены новые данные о скоростях их миграции в пределах очаговых областей. Как можно видеть

из рис. 1, новые данные хорошо дополняют ранее опубликованные данные (Викулин, 2001, 2003; Викулин, Иванчин, 1998). Зависимость, определяющая процесс миграции форшоков и афтершоков в очагах сильных землетрясений, определенная во всем диапазоне магнитуд $1 \leq M \leq 8,3$, имеет вид:

$$M_2 = LgV_2 - 1 \quad (15)$$

Предельное значение «локальной» скорости миграции оказалось близким скорости поперечных сейсмических волн:

$$V_{2, max} \approx 4 \text{ км/сек},$$

и, возможно, превышает его, на что указывают данные о толчках-дуплетах Большого Камчатского землетрясения 4.11.1952, $M_W = 9,0$ (рис. 1).

Вулканический процесс. Составленная в формате базы землетрясений база вулканических извержений содержит следующие параметры: дата извержения (год, месяц, день), координаты вулкана (долгота и широта в градусах) и объем изверженного ювенильного материала W (Акманова, 2007; Викулин и др., 2007). В соответствии со шкалой, принятой в Smithsonian Institution (Simkin, Siebert, 1993), все извержения в базе классифицировались по величине $W = 1, 2, 3, \dots, 7$, значения которой соответствуют следующим объемам извергнутых при извержении ювенильных пород $10^{4.5}, 10^6, 10^7, \dots, 10^{11} \text{ м}^3$ соответственно.

Распределение чисел извержений в базе по их величинам W для разных по масштабу регионов от всего мира до отдельно взятого вулкана представлено на (рис. 2). Из этих данных видно, что вулканические извержения, независимо от масштаба исследуемого региона, по своей величине, так же как и землетрясения, распределены закономерным образом – чем сильнее событие, тем реже оно происходит.

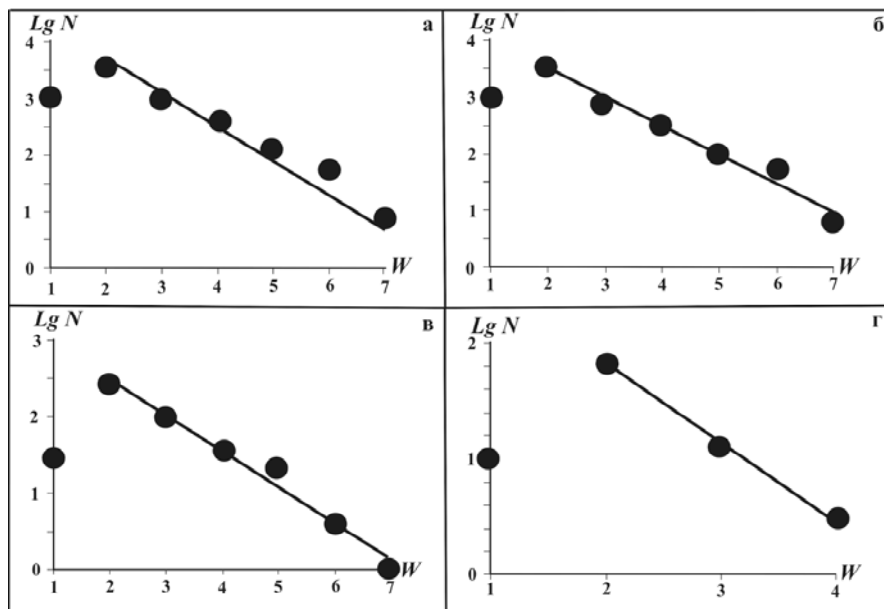


Рис. 2. Распределение чисел вулканических извержений по их величинам W – графики повторяемости вулканических извержений, построенные по данным на различных масштабных уровнях: вся планета в целом (а), окраина Тихого океана (б), Камчатка (в) и Ключевской вулкан на Камчатке (г).

Полученные нами данные о повторяемости вулканических извержений, вслед за (Токарев, 1987; Шейдеггер, 1981, 54-55 с.; Hedervari, 1963), позволяют использовать объем изверженного ювенильного материала (W) в качестве количественной характеристики вулканического процесса и ставить задачу об энергетике вулканического процесса.

Миграция вулканических извержений. Исследование свойств распределения в пространстве и во времени вулканических извержений с $W \geq 6$, как и в работах (Викулин, Водинчар, 2005; Викулин и др., 2007), проводилось на плоскости с осями расстояние вдоль окраины L – время извержения t . Данные, приведенные на рис. 3, показывают, что все вулканические извержения (93%: 28 из 30) группируются вдоль двух достаточно узких областей (I, II) примерно параллельных друг другу - скорости миграции $V_{I, II}$ вдоль которых примерно равны между собой:

$$V_I \approx 7,2 \pm 4,0 \text{ км/год}, V_{II} \approx 4,3 \pm 2,0 \text{ км/год}, V \approx \frac{1}{2}(V_I + V_{II}) \approx 5 \pm 2 \text{ км/год}. \quad (16)$$

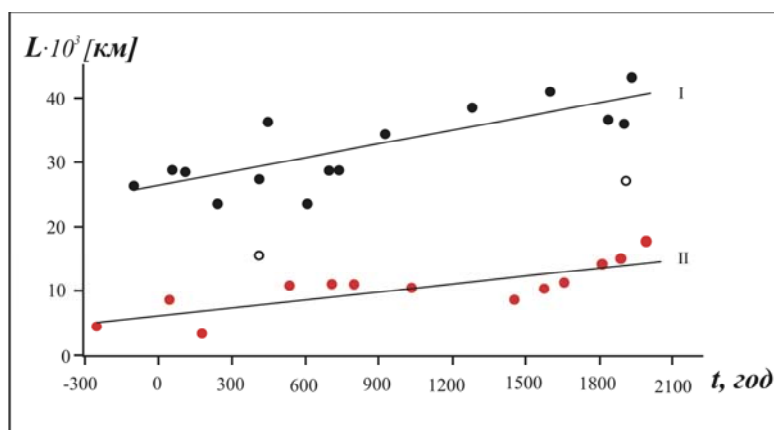


Рис. 3. Расположение тихоокеанских вулканов с $W \geq 6$ извержениями на плоскости с осями L - расстояние вдоль окраины, t – время. Пустыми кружками обозначены два извержения, данные о которых не использовались при определении зависимостей I и II.

При анализе полученных данных, было обращено внимание на то, что возможна и «быстрая» миграция тихоокеанских сильных ($W \geq 6$) вулканических извержений со скоростями, большими, чем в соотношениях (16). Пример такой миграции и параметры выделенных миграционных цепочек представлены в таблице и на рис. 4.

Параметры выделенных миграционных цепочек

p	k	a , км/год	T , год
1	4	63 ± 24	302
2	4	61 ± 12	375
3	7	44 ± 7	351
4	3	51 ± 8	273
5	4	50 ± 5	418
6	9	80 ± 10	278
7	6	50 ± 40	
Среднее значение		57 ± 9	$\bar{T} = 333 \pm 49$

Примечание: p – порядковый номер области на рис. 4; k – количество извержений вулканов; a – значение “угла наклона” области; T – интервал времени между миграционными областями, определенные по “центральной” частям областей на уровне ≈ 20000 км, $\bar{T}$ – средний интервал.

Из данных на рис. 4 и в табл. 1. видно, что все 30 вулканических тихоокеанских извержений с $W \geq 6$ в течение последних 2250 лет оказывается возможным разместить вдоль таких цепочек, скорости миграции a вдоль которых и характерный период повторения миграционных цепочек $\bar{T}$, составляют:

$$a = 60 \pm 10 \text{ км/год}, \bar{T} = 330 \pm 50 \text{ лет}. \quad (17)$$

Это подтверждает сделанный ранее вывод (Викулин, 2003) о волновом характере вулканического процесса в пределах тихоокеанского огненного кольца.

Полученные данные позволяют усилить ранее сформулированные выводы (Викулин, 2003) о волновой природе процесса. А именно: волны миграции и сейсмической и вулканической активности являются, по сути, проявлениями в разных геофизических полях единого сейсмо-вулканического волнового процесса, протекающего в пределах тихоокеанского активного пояса.

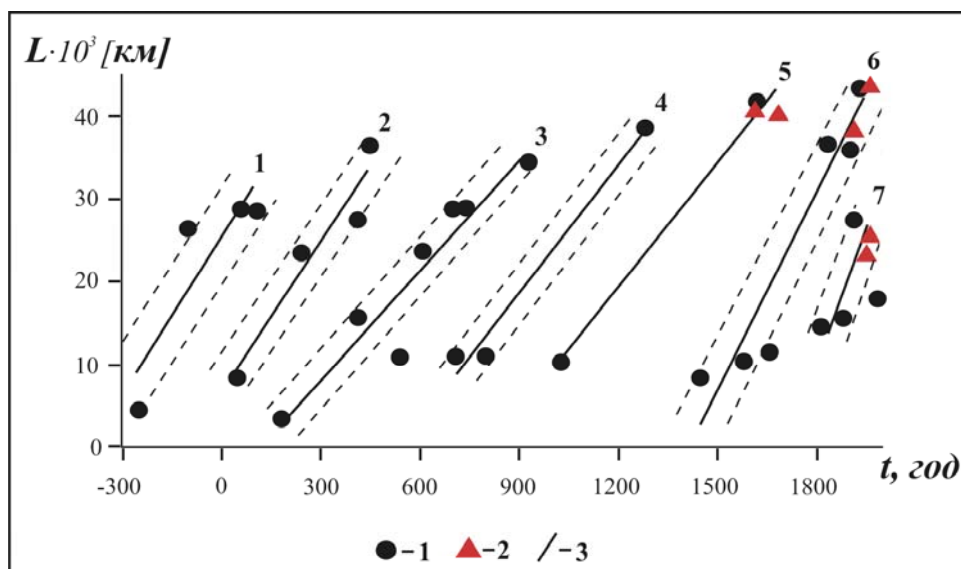


Рис. 4. «Быстрая» миграция вулканических извержений в пределах окраины Тихого океана со скоростью около 60 км/год . 1 – вулканические извержения, 2 – эпицентры землетрясений с $M_w \geq 8,8$, 3 – линии миграции, определенные методом наименьших квадратов; цифрами обозначены номера миграционных цепочек.

Эксперимент

Создана установка, позволяющая измерять ротационный эффект, создаваемый «собственным» моментом поворачивающейся (с помощью электромотора) частью тела, упруго (с помощью пружин) связанной со всем вращающимся телом. Суть эксперимента заключается в том, что момент объема должен существовать в течение некоторого времени, после того как вращение тела прекратится. Первые измерения показали, что величина возникающего «ротационного упругого» момента качественно находится в хорошем согласии с предсказаниями теории (Викулин, Иванчин, 1997, 1998). Тем самым имеются основания считать обоснованным основное предположение описанной выше теории упругой ротационной природы поля, возникающего в блоковых средах под действием собственных (блоковых) моментов с осями непараллельными оси вращения тела (Земли).

Обсуждение результатов

Поставлена и аналитически решена задача о поле упругих напряжений, возникающих вокруг поворачивающегося за счет внутренних источников блока земной коры. Полученные решения для смещений, напряжений, энергии упругого поля и его момента оказались прямо пропорциональными угловой скорости вращения Земли. Проведены количественные и экспериментальные оценки, которые показали хорошее совпадение полученных решений с параметрами геофизической среды.

Феноменологически решена задача о поле упругих напряжений, возникающем вокруг цепочки поворачивающихся блоков. Получено новое волновое решение с характерной скоростью процесса c_0 прямо пропорциональной угловой скорости вращения

Земли. Отличительными особенностями полученного решения явились его ротационно ($\vec{\Omega}$) - упругий ($V_s = \sqrt{G/\rho}$) характер и, как следствие, малое, на пять – шесть порядков по величине меньшее скорости сейсмических упругих волн V_s , V_p значение ротационно-упругой скорости c_0 . Полученное решение количественно хорошо согласуется с экспериментальными данными для волн миграции землетрясений (Викулин, 2003), что позволяет построенную ротационно-упругую модель использовать для количественного описания свойств волнового сейсмического процесса.

Нами было обращено внимание на то, что пять дуплетов сильнейших $M_{1,2} = 8.1 \div 8.7$ землетрясений, произошедших в 1897-1901 гг., мигрировали вдоль окраины Тихого океана со скоростью $\sim 7000 \text{ км/год} \sim 10 \text{ см/сек}$ (рис. 1). Согласно зависимости (15) и такой скорости миграции соответствует значение магнитуды

$$M_{\max} \approx 10,$$

которое может определять максимально возможное значение сейсмической энергии, выделяемой упругими волнами при сейсмическом процессе

По данным Международной службы широты (Федоров и др., 1972) примерно в это же время, в 1895-1896 гг., движение полюса планеты, вместо «обычного» плавного кругового против вращения Земли, имело «изломы» и даже было направлено в «обратную» сторону (рис. 2.5.1 в (Викулин, 2003)). Такое «совпадение» во времени высокоскоростной миграции сильнейших дуплетов и нехарактерного нутационного движения полюса планеты представляется не случайным и позволяет предположить, что максимально возможное значение магнитуды $M_{\max}$, по сути, является отражением факта существования предельного значения энергии геодинамического планетарного процесса.

Список литературы

Акманова Д.Р. Пространственно-временные закономерности распределения вулканической активности окраины Тихого океана за последние 12 тыс. лет. // Материалы ежегодной конференции, посвященной Дню Вулканолога 28–31 марта 2007 г. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2007. С. 263–273.

Викулин А.В. Феноменологическая волновая модель сейсмического процесса // Доклады АН СССР, 1990. Т. 310. № 4. С. 621-824.

Викулин А.В. Миграция и осцилляции сейсмической активности и волновые движения земной коры // Проблемы геодинамики и прогноза землетрясений. I Российско-Японский семинар, Хабаровск, 25-29 сент. 2000, Хабаровск: ИТиГ ДВО РАН, 2001. С. 205-224.

Викулин А.В. Физика волнового сейсмического процесса // Петропавловск-Камчатский: КОМСП ГС РАН - КГПУ, 2003. 151 с. www.ksnet.ru

Викулин А.В. Мир вихревых движений. Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2008а. 230 с.

Викулин А.В. Энергия и момент силы упругого ротационного поля геофизической среды // Геология и геофизика. 2008б. Т. 49. № 6. С. 559-570.

Викулин А.В., Водинчар Г.М. Спектр потока сейсмичности // Четвертый Всероссийский симпозиум «Сейсмоакустика переходных зон». Материалы докладов. Владивосток: ТОИ ДВО РАН, 2005. С. 98-102.

Викулин А.В., Водинчар Г.М., Мелекесцев И.В. и др. Моделирование геодинамических процессов окраины Тихого океана // Солнечно-земные связи и предвестники землетрясений. Сборник докладов IV международной конференции. 14-17 авг. 2007. с. Паратунка Камч. обл. Петропавловск-Камчатский: ИКИРР ДВО РАН, 2007. 499 с.

Викулин А.В., Иванчин А.Г. Модель сейсмического процесса // Вычислительные

технологии. 1997. Т. 2. № 2. С. 20-25.

Викулин А.В., Иванчин А.Г. Ротационная модель сейсмического процесса // Тихоокеанская геология. 1998. Т. 17. № 6. С. 95-103.

Викулин А.В., Тверитинова Т.Ю. Энергия тектонического процесса и вихревые геологические структуры // Доклады РАН. 2007. Т. 413. № 3. С. 372-374.

Викулин А.В., Чернобай И.П. О некоторых особенностях двух сильнейших курило-камчатских землетрясений // Физические поля и свойства горных пород Северо-Востока СССР. Магадан: СВКНИИ ДВНЦ АН СССР, 1986. С. 44-59.

Вихри в геологических процессах / Ред. А.В. Викулин. Петропавловск-Камчатский: КГПУ, 2004. 297 с. www.kscnet.ru

Гольдин С.В. Физика «живой» Земли // Проблемы геофизики XXI века. Кн. 1 / Ред. А.В. Николаев. М.: Наука, 2003. С. 17-36.

Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теория упругости. М.: Физматлит, 2003. 264 с.

Осинова Н.А. Определение скоростей миграции тихоокеанских землетрясений в области магнитуд $M > 8.0$ // Материалы ежегодной конференции, посвященной Дню Вулканолога 28–31 марта 2007 г. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2007. С. 183–190.

Осинова Н.А. О миграции тихоокеанских землетрясений в области магнитуд $M > 8$ // Геофизический мониторинг и проблемы сейсмической безопасности Дальнего Востока России. Труды региональной научно-технической конференции. 11-17 ноября 2007. Т. 2. Петропавловск-Камчатский: КФ ГС РАН, 2008. С. 196-199.

Островский Л.А. Неклассическая нелинейная акустика // Нелинейные волны 2004. Нижний Новгород: ИПФ РАН, 2005. С. 109-124.

Пейве А.В. Тектоника и магматизм // Изв. АН СССР, сер. геологическая, 1961. № 3. С. 36-54.

Проблемы геофизики XXI века / под. ред. Николаева А.В. Сборник научных трудов в двух книгах. М.: Наука, 2003. 311 с.

Ротационные процессы в геологии и физике / Ред. Е.Е. Милановский. М.: ДомКнига, 2007. 528 с.

Садовский М.А. Новая модель геофизической среды // Българско геофизично списание, 1985. Т. XII. №2. С. 3-10.

Садовский М.А. Избранные труды. Геофизика и физика взрыва. М.: Наука, 2004. 440 с.

Седов Л.И. Механика сплошной среды. Т. 1. М.: Наука, 1973. 536 с.

Токарев П.П. Характеристика и повторяемость вулканических извержений // Вулканология и сейсмология. 1987. № 6. С. 110-118.

Федоров Е.П., Корсунь А.А., Майор С.П. и др. Движение полюса Земли с 1890 г. Киев.: Наукова думка, 1972. 264 с.

Шейдеггер А.Е. Физические аспекты природных катастроф. М.: Недра, 1981. 232 с.

Duda S.J. Strain release in the Circum-Pacific belt, Chile 1960 // J. Geophys. Res. 1963. V. 68. P. 5531-5544.

Hedervari P. On the energy and magnitude of volcanic eruptions. Bulletin volcanologique. T. 25. 1963. P. 373-390

Simkin T., Siebert L. Volcanoes of the world (catalogue). Published in association with the Smithsonian Institution. 1993. 350 p.

Vikulin A.V. Earth rotation, elasticity and geodynamics: earthquake wave rotary model // Earthquake source asymmetry, structural media and rotation effects / Eds. R. Teisseyre, M. Takeo, E. Majewski. Berlin Heidelberg New York: Springer, 2006. P. 273-289.

ЭКСПЕДИЦИЯ РЯБУШИНСКОГО И СТАНОВЛЕНИЕ СЕЙСМОЛОГИИ И ДЕМОКРАТИИ НА КАМЧАТКЕ

Викулин А.В.¹, Викулина С.А.²

¹*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Россия; e-mail: vik@kscnet.ru*

²*Камчатский филиал ГС РАН, Петропавловск-Камчатский, Россия*

Экспедиция Русского географического общества России 1908-1909 гг., организованная на средства миллионера-мецената Ф.П. Рябушинского, является одним из важнейших мероприятий, положивших начало всестороннему комплексному развитию всего Дальнего Востока России и, как следствие, окончательному закреплению территории Камчатки за Россией.

Династия Рябушинских: главным является «дело, которому ты служишь»
(Герман, 1967; Петров, 1997)

Родоначалником династии был уроженец слободы Панфутьево Боровского монастыря Калужской губернии Михайло Яковлев (1786-1858) - сын крестьянина, который в 1823 г. объявил 8 тысяч рублей капитала и просил записать его с семейством в 3-ю купеческую гильдию. Капитал в 2 млн рублей, перешел к его сыновьям Павлу (1820-1899) и Василию (1826-1885). Капитал уже в 20 млн рублей наследовали тринадцать детей Павла Михайловича Рябушинского, крупнейшего промышленника и влиятельнейшего банкира, считавшего «главной целью не наживу, а дело». Все дети получили неплохое образование. «Богатство обязывает» - любил повторять старший третьего поколения семейства Павел Павлович (1871-1924).

Многочисленная фамилия Рябушинских была богата одаренными в различных сферах людьми. Наука и искусство были теми областями человеческой деятельности, которые притягивали буквально всех представителей третьего поколения. Одни сочетали меценатство и коллекционирование с активной предпринимательской деятельностью, для других искусство и мир знаний стали главным жизненным поприщем.

В 1904 г. Дмитрий Павлович (1882-1962) в семейном имении Рябушинских близ деревни Кучино на свои средства основал Аэродинамический институт - первый в мире научно исследовательский институт такого профиля. На базе этого института впоследствии был создан Центр авиационной науки СССР – Центральный Аэрогидродинамический институт (ЦАГИ) имени Н.Е. Жуковского (Чернышев, 2008).

Большое внимание братья Рябушинские уделяли освоению природных богатств России. Федора Павловича (1895-1910) привлекала Камчатка. На организацию научной экспедиции 1908-1909 гг. на этот полуостров он пожертвовал громадную по тем временам сумму 200 тысяч руб. Экспедиция Ф.П. Рябушинского должна была всесторонне изучить природные богатства и население далекой окраины. Федор Павлович сам планировал принять участие в экспедиции, но здоровье не позволило ему сделать это.

Осенью 1913 г. Павел Павлович решает организовать собственную «Московскую экспедицию по отысканию радия» с бюджетом около миллиона рублей и привлекает к ее финансированию более сорока московских торгово-промышленных фирм и влиятельных персон. Весной – летом 1914 г. экспедиция должна была работать в двух перспективных в отношении радиоактивных руд районах - Забайкалье и Ферганской долине. Экспедиция П.П. Рябушинского должна была действовать в контакте с экспедицией Академии наук, которую удалось «пробить» В.И. Вернадскому. Поисковые партии весной 1914 г. отправились в Сибирь и Среднюю Азию, но продолжению работ помешала начавшаяся первая мировая война, экспедиция была свернута и поиски редкого элемента отложены на долгие годы.

Дальний Восток России в конце XIX – начале XX вв. (Аров, 2007)

1880 г. С этого периода японцы начинают безнаказанно вести хищнический лов лосося.

1890 г. Посещение военным губернатором Приморской области П.Ф. Унтербергом Камчатки, в результате появляются первые наметки плана о выделении Камчатки вместе с остальными северными уездами в отдельную область.

1895-1897 гг. В связи с началом строительства железных дорог на Дальнем Востоке на Камчатке работает Охотско-Камчатская горная экспедиция под руководством К.И. Богдановича.

1904-1905 гг. Русско-японская война. Весть о войне на Камчатку пришла через три месяца после ее начала. В период войны японцы высадили на Камчатке десятки вооруженных десантов с целью захвата незащищенной русской окраины – здесь не было ни одного русского солдата. Жители сами создали боевые дружины и отразили все нападения врага.

1906 г., декабрь. Военный губернатор Приморской области В.Е. Флуг первым поднимает вопрос «о необходимости выделения северных уездов области в особую административную единицу с центром в Петропавловске».

1907 г. Россия и Япония в соответствии с Портсмутским мирным договором подписывают рыболовную конвенцию, по которой японцы получают право арендовать на равных с русско-подданными рыболовные участки на российском побережье. В результате появления бесчисленных японских рыбалок возникает реальная угроза мирной аннексии Японией Камчатки.

Как следует из воспоминаний В. Каянто, японские рыбалки на Камчатке существовали вплоть до 1941 г. - до начала Великой Отечественной войны (Коянто, 2008).

1908 г. Приамурский генерал-губернатор П.Ф. Унтерберг направляет Правительству секретный доклад «Ближайшие задачи в деле закрепления за нами Приамурского края».

31 марта об этом же говорил в Государственной Думе П.А. Столыпин: «На нашей далекой окраине – на Камчатке и на побережье Охотского моря уже начался какой-то недобрый процесс. В наш государственный организм уже вклинивается постороннее тело. Для того чтобы обнять этот вопрос не только с технической, со стратегической точки зрения, но с более широкой общегосударственной, политической, надо признать, как важно для этой окраины заселение ее».

29 октября Министерство внутренних дел опубликовало проект «Об административном переустройстве Приморской области».

1909 г. 28 апреля Государственная Дума заслушала доклад комиссии по направлению законодательных предложений «Об административном переустройстве Приморской области и острова Сахалин». В докладе говорилось: «Речь идет не об образовании Камчатской области, а о восстановлении некогда существовавшей особой административной единицы – Камчатской области ... мы признаем необходимым устройство беспроволочного телеграфа между Николаевском и Петропавловском и далее до Чукотского полуострова ... мы говорим о принятии санитарных мер и об устройстве медицинской помощи в Камчатской области».

17 июля опубликовано «Временное положение об управлении Камчатской областью».

22 июля Николай II назначает В.В. Перфильева, не дворянина, «исполняющим должность камчатского губернатора».

К этому времени между центром России и Дальним Востоком (Владивостоком) уже существовала устойчивая и радио и телеграфная связь. Была закончена постройка телеграфа на участке Иркутск – Якутск – Охотск (Вопросы..., 2007, с. 459-462; 2008).

Таким образом, в 1908-1909 гг. создаются все (и необходимые и достаточные) условия, позволившие в дальнейшем реально усилить пограничную Камчатку и, тем самым, сохранить ее в составе России.

Камчатка в начале XX века (Аров, 2007; Викулин и др., 1987; Пурин, 2008)

1855-1909 гг. являются годами забвения: Камчатка не имеет ни школ, ни врачей, ни больниц. Русские вольные люди, овладев Камчаткой, заняли все удобные для рыболовства, звероловства и сельского хозяйства места и стали с тех пор господами над туземцами. Здесь, на далекой окраине, каждый эксплуатировал инородцев. Частым явлением среди коренного населения был голод. Например, в 1890 г. якуты питались сосновой корой и мясом палого скота. В 1906-1907 гг. ламуты и юкагиры убивали свои семьи и питались их мясом.

1896 - 1901 гг. На Камчатке зарождается рыбная промышленность, которая ввиду отсутствия свободных рабочих рук развивается очень медленно. Местное население занималось своими делами, привлечь его к работе на рыбных промыслах было невозможно, там работали, в основном, японцы. В 1901 г. в Тарьинской бухте строится первый рыбоконсервный завод.

1897 г. Приамурский генерал-губернатор С.М. Духовский посещает Петропавловск: «Петропавловск – небольшая группа потемневших, со следами разрушения домов, ничтожное число, менее 400 жителей, живущих особой, до крайности суженной в своих интересах жизнью – вот что осталось от областного центра и морского порта Петропавловска».

По переписи 1897 г. в Петропавловском округе проживало 8365 человек.

1908-1909 гг. На Камчатке работают две экспедиции: переселенческая и Русского Географического общества, оснащенная на средства Ф.П. Рябушинского. Целью первой экспедиции является переселение российского населения на территорию Камчатки с целью закрепления края за Россией.

Цель второй экспедиции, по словам одного из самых активных ее участников начальника Ботанического отряда В.Л. Комарова, «была исключительно научная – возможно полное и всестороннее описание Камчатки; никакими другими целями экспедиция не задавалась» (Комаров, 2008, с. 15). Именно в ходе работы этой экспедиции и произошло знакомство будущего академика и президента Академии наук СССР В.Л. Комарова с потомком «сына боярского из Иркутска» П.Т. Новограбленовым (1892-1937) и это знакомство определило всю дальнейшую жизнь совсем еще молодого камчадала (Харитановский, 1963).

1909 г., 16 августа губернатор В.В. Перфильев с большой группой чиновников («интеллигентные силы – учителя, врачи, духовенство, крупные промышленники и пушники, среди последних немало американцев, англичан и японцев» (Пурин, 2008) прибывает в Петропавловск. Здесь сразу же развернулось бурное строительство. На строительстве трудилось около 300 китайцев и корейцев.

1910 г. В Петропавловске, как областном центре, при училище открываются учительские курсы, окончив которые в 1913 г. П.Т. Новограбленов поступает в Учительский (ныне Политехнический) институт в Томске.

1910-1913 гг. В Петропавловске инженером И.С. Багиновым построена уникальная по тем временам и одна из мощнейших в мире радиостанция, напрямую соединившая Камчатку с Николаевском. Для этого на Камчатку были отправлены тысячи рабочих, сотни лошадей и десяток транспортов с материалами и продовольствием. Для работ пришлось завозить абсолютно все – от гвоздя до телеграфного столба, продукты, одежду, корм для лошадей, телеги и сани. Началось строительство дороги, помещений для рабочих и учреждений. Это было огромное не имеющее аналога в мире предприятие государственного масштаба (Вопросы ..., 2007, с. 459-462), которое Российской казне обошлось примерно в 20 млн. рублей – деньги по тем временам просто фантастические.

В жизни полуострова произошла настоящая революция. Теперь вести из центра в Петропавловск поступали в тот же день. Одновременно началось строительство телеграфной линии между Петропавловском и Охотском протяженностью 3000 км. В течение трех лет телеграфная линия была проведена от Петропавловска до Тигиля (900 км). Она связала все населенные пункты западного побережья Камчатки.

«На первом Всеподданнейшем докладе губернатора В.В. Перфильева Государь соизволил начертать: Камчатка – жемчужина в короне российской» (Пурин, 2008).

Петропавловск, по сути, становится центром связи между Россией, Японией и США – усиливается геополитическое положение Камчатки (Вопросы ..., 2007, с. 462).

Для обслуживания радиостанции в Петропавловск прибывает выпускник Санкт-Петербургского электротехнического института уроженец г. Валк (Лифляндия, Латвия) Александр Антонович Пурин (1885-1952), сыгравший в истории Камчатки видную роль.

1911-1915 гг. В результате ходатайства академика Б.Б. Голицына в Петропавловске открывается сейсмическая станция, как составная часть сети сейсмических станций России. Первым наблюдателем станции в Петропавловске становится чиновник радиотелеграфа А.А. Пурин.

В это время в мире насчитывалось около 60 сейсмических станций. Четвертая их часть приходилась на долю России. Сейсмостанция в Петропавловске, удаленная от центра на максимально возможное расстояние, занимала достойное место.

1915 г., 18 июля. В этот день в центральную обсерваторию в Пулковое, расположенную близ Санкт-Петербурга, ушла первая сводка о записи камчатского землетрясения: «18 июля 01 час 33 минуты в продолжении часа сейсмографы описывали колебание почвы, максимальное отклонение на канале север-юг 24 мм». Таким образом, эту дату можно считать началом детальных сейсмологических наблюдений на Камчатке и всем Дальнем Востоке России. Ближайшие к Петропавловску российские сейсмические станции располагались в Иркутске, Ташкенте и Екатеринбурге.

Район радиостанции, вблизи которой были построены сейсмическая и хорошо оборудованная метеорологическая станции, становится крупным культурным и научным центром. Здесь, кроме регистрации землетрясений, проводились наблюдения в области электрометеорологии и, в частности, наблюдения «за воздушными электрическими экранами и их передвижением». При Петропавловской радиостанции были открыты курсы радиотелеграфии и радиотехники, на которые привлекались уроженцы Камчатки, получившие соответствующее образование, и из их числа подготавливались кадры работников по радиотелеграфии.

Правительство России решило построить в Петропавловске радиолaborаторию, мастерские и отпустило 1000 рублей на опыты по радиотелеграфии (Вопросы..., 2007, с. 459-462)

Как видим, по сути, возникла и стала реализовываться в жизнь идея создания в Петропавловске на базе сейсмической станции и радиостанции комплексной геофизической обсерватории. Немалая заслуга в этом принадлежит именно А.А. Пурину, которым было написано несколько научных работ по этим направлениям (Пурин, 1917; 2008, с. 109; Пустовит, 2007). Однако осуществлению этих поистине грандиозных для Камчатки планов помешала сначала первая мировая война, затем Октябрьская революция и последовавшая за ней жестокая и кровопролитная борьба за власть в Сибири и на Дальнем Востоке России.

1917 г., июнь. В Петропавловске выходит в свет первая такого рода на Камчатке, Дальнем Востоке и вообще за пределами европейской части России брошюра А.А. Пурина «Землетрясения Камчатки и их регистрация». В книжке приводится подробное научное описание сильного 30.1.1917, $M = 8$ землетрясения на Камчатке и Командорских островах, и высказывается мысль о возможности предсказания сильных землетрясений.

20 июля-8 августа. В Петропавловске происходит первый Областной Съезд 46 представителей области. Организовывается Областной Комитет общественной

безопасности, председателем которого избирается А.А. Пурин – первый демократически выбранный руководитель Камчатки (Пирагис, 2008).

1918 г., май-июль. И.Е. Ларин (1890-1980) - один из организаторов установления Советской власти на Камчатке избирается Председателем первых Советов рабочих и солдатских депутатов Камчатки (Пирагис, 2008, с. 56-57).

Несколько позже И.Е. Ларин так писал о населении Камчатки: «Главная масса населения – инородцы, стоящие на весьма низкой ступени культурного и умственного развития ... Русское население в большинстве своем состоит из так называемых казаков - выходцев из Сибири и переселенцев, между которыми рассосались чиновники (старого покроя), спекулянты, барахольщики и другая нечисть – высасывающая соки населения, для которых необходима железная метла» (Пустовит, 2007).

В городе, фактически, двоевластие. Из сохранившихся документов следует, что А.А. Пурин обращается к Советам с просьбой о выделении «пшеничного спирта крепостью 95°», необходимого для растворения канифоли и закрепления сейсмограмм, и получает отказ. В результате А.А. Пурин передает сейсмостанцию Асаевичу, что приводит, фактически, к прекращению инструментальных сейсмологических наблюдений на Камчатке (Викулин, Синельникова, 1985).

Лето – осень. Из сохранившихся документов можно сделать вывод, что позиции Областного комитета, руководимого А.А. Пуриным, среди населения усиливаются, и они постепенно берут верх над Советами. На Камчатку прибывает целый ряд различных научных экспедиций. Переселенческое управление (видимо, из столицы Сибири в Омске и/или из Владивостока) присылает свои организации для постройки дороги, гидротехнических работ. Были открыты десятки новых школ и фельдшерских пунктов. Приезжают врачи и учителя. Прибывает много лиц с высшим образованием – клад для края. Открываются новые магазины. Областной продовольственный комитет энергично (на сумму около 10 млн. рублей) проводит для населения Камчатки заготовку продуктов во Владивостоке.

Именно в это время, окончив Томский учительский институт, прибывает в Петропавловск Прокопий Трифонович Новограбленов – первый камчадал с высшим образованием (Харитановский, 1963).

1918-1922 гг. П.Т. Новограбленов избирается гласным Городской Думы, что впоследствии будет ему стоить жизни (Пустовит, 2007).

1919, май – 1922, январь. А.А. Пурин работает во Владивостоке заведующим гидрометеорологической частью Владивостокской морской обсерватории.

1922, январь – апрель. А.А. Пурин находится в Петропавловске в качестве члена Особого Совещания Временного Приамурского правительства по оказанию культурно-экономической помощи населению Охотско-Камчатского края.

1922 г., октябрь. А.А. Пурин – правитель канцелярии начальника области, которым являлся П.М. Иванов-Мумжиев.

2 ноября в связи с неизбежным взятием «красными партизанскими частями» Петропавловска А.А. Пурин уже навсегда покидает Камчатку.

1922, ноябрь. Окончательное становление советской власти на Камчатке – партизанские отряды «занимают» Петропавловск-Камчатский и через некоторое время контролируют всю область.

Китай - Камчатка

1923 – 1952 гг. А.А. Пурин проживает в эмиграции в Китае, в гг. Циндао и Шанхай. Неоднократно печатается в сборнике русских эмигрантов «Вольная Сибирь», издававшемся в Праге (Пурин, 1927, 1928).

1940 г. В Шанхае по инициативе А.А. Пурина широко отмечается 200-летие присоединения Камчатки к России (Вопросы..., 2008, с. 104).

1952 г. Органами китайской безопасности (видимо, по «наводке» соответствующих органов СССР) А.А. Пурин (как и многие другие русские эмигранты, проживавшие в Китае) арестовывается и передается в Управление Министерства государственной безопасности по Хабаровскому краю, где ему было предъявлено обвинение во враждебной деятельности против СССР.

В этом же году А.А. Пурин умирает в тюремной больнице в Хабаровске во время следствия (Пустовит, 2007).

1998 г. А.А. Пурин полностью реабилитирован по ходатайству директора Центра документации новейшей истории Камчатской области В.П. Пустовита.

«Направляем копии фотографии и заключения о реабилитации Пурина Александра Антоновича из архивного уголовного дела П-83114. Сведений о его родственниках в деле не имеется, с заключениями по поводу его судьбы никто не обращался. В 1996 г. нами в Ваш адрес направлялись копии протоколов допросов Пурина А.А. с биографическими данными. Умер Пурин А.А. 10.08.52 г. находясь на излечении в тюремной больнице с двухсторонней гнойной бронхопневмонией. Место захоронения – Хабаровское городское кладбище» (Пустовит, 2007).

Камчатка (Викулин и др., 1987)

1923 г., 15 апреля. «Я Камчатский Губернский прокурор ПЕРЕСВЕТ-СОЛТАН, рассмотрев дело НОВОГРАБЛЕНОВА Прокопия Трифионовича - по обвинению в контр-революционной деятельности против Р.С.Ф.С.Р., принимая во внимание его активное и сознательное участие в вышеуказанных содеянных преступлениях ПОСТАНОВИЛ: Примененную следователем меру пресечения, поручительство имущественное, изменить и НОВОГРАБЛЕНОВА П.Т. в Губернскую тюрьму заключить» (Пустовит, 2007).

1923-1929 гг. На Камчатке происходит сильнейшее $M = 8.5$, 3.02.1923 землетрясение и цунами, подробное описание последствий которых во всех населенных пунктах Камчатки составляется П.Т. Новограбленовым. Прокопий Трифионович пытается восстановить работу сейсмической станции, его консультирует заведующий сейсмической станции во Владивостоке А.С. Уланов. Но полностью восстановить работу сейсмической станции ему так и не удается.

1930-1936 гг. В документах Камчатского управления гидрометеослужбы сохранилась копия телеграммы в Хабаровский Крайком, из которой узнаем: «Сейсмическая станция прекратила наблюдения в мае 1933 г. По заключению экспедиции Академии наук, предполагавшей восстановить станцию в 1935 г., необходимо поставить сейсмограф новейшей системы, так же произвести капитальный ремонт пола, утерьявшего горизонтальность».

П.Т. Новограбленов посвящал очень много времени исследованию Камчатки. Им составлен каталог камчатских вулканов и описаны многие термальные источники. П.Т. Новограбленов продолжил начатый во время экспедиции 1908-1909 гг. В.Л. Комаровым сбор гербария, который в настоящее время хранится в Музее землеведения МГУ. Всего перу П.Т. Новограбленова принадлежит пятьдесят статей и большое количество научных сообщений, касающихся ботаники, геологии, зоологии, археологии, вулканологии и сейсмологии. 14 работ напечатано в изданиях Академии наук СССР и Русского географического общества (Харитановский, 1963).

П.Т. Новограбленов был Инспектором училища в Петропавловске и заведовал всеми образовательными учреждениями области.

И, тем не менее, несмотря на такую кипучую всестороннюю деятельность П.Т. Новограбленов неоднократно «поражался в правах», подвергался «конфискации имущества» и арестовывался с содержанием в тюрьме (Пустовит, 2007).

1937 г. П.Т. Новограбленов репрессирован. О том, как это произошло, можно узнать из статьи в газете «Камчатский комсомолец» от 14 апреля 1989 г. «У него не было шансов выжить». В этой статье имя П.Т. Новограбленова не упоминается, но сообщается

о группе лиц, репрессированных в 1937 г. Описание приводимых в газете событий совпадает с воспоминаниями Ю.С. Балахнова, который со слов матери узнал как и за что ее родного брата арестовали в 1937 г. Осенью того же года его вместе с другими арестованными вывезли на барже в центральную часть бухты Бабия. Там их расстреливали и бросали в воду. Многие падали в воду живыми. О расстреле стало известно спустя месяц. И в течение всего этого месяца у родственников принимали передачи для арестованных.

Напряженная «атмосфера», царившая в Петропавловске в 1930-х гг., отчетливо просматривается и в воспоминаниях Бориса Ивановича Пийпа (1906-1966), впоследствии основателя Института вулканологии и его первого директора (Пийп, 2006).

1946 г. На Вулканостанции АН СССР в Ключах начинает работу сейсмическая станция.

1951 г., март. В Петропавловске при активном содействии и участии видного сейсмолога Н.В. Шебалина возобновила свою работу сейсмическая станция.

1952 г., 5 ноября. Большое Камчатское землетрясение, цунами после которого смыло Северо-Курильск. Землетрясение привлекло внимание Правительства СССР к проблемам сейсмической и цунами опасности тихоокеанского побережья СССР. Как следствие – на Дальнем Востоке создаются комплексные научно-исследовательские Институты Академии наук СССР, которые начинают проводить геофизический мониторинг (Викулин, 2000).

1957 г. П.Т. Новограбленов полностью реабилитирован. О жизни этого замечательного человека, так много сделавшего для просвещения и краеведения на Камчатке, рассказал писатель А.А. Харитановский (1963).

1961 г. – настоящее время. На Камчатке начинает работу сеть сейсмических станций и геофизических стационаров, которые продолжают работу до настоящего времени, осуществляя непрерывную регистрацию землетрясений и других геофизических явлений в регионе. Материалы, получаемые этими сетями сейсмических и геофизических станций, обрабатываются и используются в научной и практической работе сотрудниками камчатских и российских научно-исследовательских институтов РАН и учеными всего мира.

Богатство обязывает

В словаре русского языка С.И. Ожегова, изданного в СССР в 1964 г., слово меценат и меценатство определяются следующим образом: «Меценат - в буржуазно-дворянском обществе: богатый покровитель наук и искусств. Меценатство – деятельность мецената» (Ожегов, 1964, с. 341). Смысл очевиден – в советском обществе такого явления нет и быть не могло.

В нашем современном обществе меценатство постепенно начинает «включаться» в нашу жизнь и «набирать обороты»: такие люди как Рябушинские, Морозовы, Третьяковы и им подобные появляются не вдруг, их появление становится возможным, когда меценатство становится выражением души общества.

Почему Федор Павлович Рябушинский пожертвовал на камчатскую экспедицию 1908-1909 гг. одну десятую часть своего личного состояния? Почему старший семейства Павел Павлович Рябушинский вложил немалые средства в организацию экспедиции 1914 г. по поиску радия и убедил многих русских промышленников и предпринимателей сделать то же самое? Почему совсем еще молодой Дмитрий Павлович Рябушинский не мог не создать Институт? Судите сами.

До начала XX века истории был известен только один случай открытия научно-исследовательского института на свои средства – химиком Робертом Бойлем в 1662 г. в Англии (Дорфман, 2007, с. 134). Второй примерно такой случай – создание Института точных наук и точной механики в Германии в 1887 г., был осуществлен Вернером фон Сименсом совместно («наполовину») с рейхстагом (Викулин, Надольская, 2008). Как

видим, создание Института на свои средства является редким событием, и, как показал российский опыт – неблагоприятным и даже опасным для жизни.

Д.П. Рябушинский создал институт в 1904 г., будучи молодым человеком, в возрасте 22 лет. Н.Е. Жуковский (1847-1921) - «участник создания института» (Советский..., 1985, с. 440). Произошло это сразу же после первого полета летательного аппарата братьев Райт 17 декабря 1903 г. Этот полет длился всего 51 секунду, но Дмитрий Павлович успел разглядеть, что за авиацией будущее и просто не мог поступить по-другому. Вся его последующая жизнь – это служение авиации. В 1904 г. Н.Е. Жуковский сформулировал (Советский..., 1985, с. 440; Физический..., 1983, с. 192) и в 1906 г. доказал (Лойцянский, 1973, с. 28) общую теорию подъемной силы, основанную на идее присоединенного вихря. (В 1902 г. немецкий ученый Кутт доказал частный вид теоремы о подъемной силе (Лойцянский, 1973, с. 28). В 1908-1912 гг. Дмитрий Павлович - студент физико-математического факультета Московского университета, его учителя - Н.Е. Жуковский и С.А. Чаплыгин. Созданным Институтом Дмитрий Павлович руководил до 1918 г., в 1904-1906 гг. работой института руководил Н.Е. Жуковский (Руденко, 2008). С целью сохранения своего детища в 1918 г. Д.П. Рябушинский добровольно передает свои права на Институт Советской власти и с 1919 г. свои научные исследования продолжает во Франции.

В этом году отмечается 90-летие всемирно известного Центрального Аэрогидродинамического института (ЦАГИ), основание которого связывается с деятельностью действительно заслуженного с мировым именем ученого Н.Е. Жуковского – нашего великого соотечественника, «отца русской авиации». Датой основания института считается 1 декабря 1918 г., когда по прямому указанию В.И. Ленина было издано соответствующее постановление Научно-технического отдела при Высшем совете народного хозяйства (Рудаков, 2008). Этому действительно важному для нашей страны событию посвящена большая часть журнала «Наука и жизнь», на страницах которого достаточно подробно раскрыта работа института за весь период его существования (Наука..., 2008). Директором института отмечено, что ЦАГИ создан на базе первого в мире Аэродинамического института в Кучино, организованного в 1904 г. на средства Д.М. Рябушинского (Чернышев, 2008). С гордостью за отечественную науку отмечено, что «лишь спустя четыре года, в 1908-м во Франции образовалась лаборатория Эйфеля, в 1912-м – Немецкий институт аэродинамики и только в 1915-м – NASA (тогда НАСА) в США» (Руденко, 2008). Полно отмечены заслуги академиков Н.Е. Жуковского и С.А. Чаплыгина (Чернышев, 2008) и многих первых сотрудников Института, ставших впоследствии заслуженными учеными: В.П. Ветчинкина (1888-1950), эмигрировавшего из России в 1920 г. А.П. Фан-дер-Флита (1870-1941) и других (Замула, Нестеренко, 2008). О роли же первопроходца Д.П. Рябушинского, волею души, фактически, положившего начало эре исследовательских центров в области авиации во всем мире (Петров, 1997), как бы, между прочим, вскользь, без особого акцента на масштабе и роли содеянного, сказано всего несколько слов (Руденко, 2008; Чернышев, 2008).

Передовое место в мире в вопросах авиации и космоса, которое занимал и по праву продолжает занимать ЦАГИ, несомненно, было обеспечено именно датой открытия Института в Кучино и его своевременным на достаточно высоком уровне научно-техническим оборудованием. Еще в 1914 г., будучи директором Института, Д.П. Рябушинский писал: «Задача аэродинамического полета разрешена, но на смену ей выдвигается новая, гораздо более трудная и грандиозная проблема, проблема перелета на другую планету» (Петров, 1997, с. 160). При создании же Института в 1918 г., без научно-технических разработок и выращенных кадров в течение предыдущих 14 лет, современный авиационный и, тем более, космический уровень ЦАГИ и его многочисленных филиалов никак не мог бы быть обеспечен.

Справедливости ради следует отметить, что 90-летие основания Института в Кучино в 1994 г. все же отмечалось: в Кучино была проведена конференция, начал

создаваться мемориальный музей и начали публиковаться материалы, призванные отдать должное имени русского ученого и первопроходца в вопросах авиации и космонавтики Д.П. Рябушинского (Петров, 1997, с. 161).

Весь мир признал научные заслуги первого «покорителя воздушного пространства» Д.П. Рябушинского, ставшего членом-корреспондентом Академии наук Франции (Петров, 1997). И только на своей Родине, в России, он продолжает числиться в разряде «антисоветских» элементов со всеми вытекающими отсюда последствиями. Именно по этой причине заслуги перед Отечеством и династии Рябушинских, и А.А. Пурина, и П.Т. Новограбленова, и других известных и менее известных наших соотечественников только-только начинают «как-то стыдливо» и нерешительно признаваться.

Заключение

Здание первой сейсмической станции в Петропавловске, построенное в 1914 г. по чертежам А.А. Пурина, сохранилось до настоящего времени. Сохранилась и начинает с большим трудом пробивать себе дорогу и добрая память о людях, искренним желанием которых было преумножение богатств и России и нашего Камчатского края. Дело, начатое экспедицией 1908-1909 гг. Русского географического общества, организованной на средства Ф.П. Рябушинского, и активно подхваченное Б.Б. Голицыным, А.А. Пуриным, П.Т. Новограбленовым и другими, с честью и на высоком научно-техническом уровне продолжается и приумножается современниками.

На Камчатке имел место единственный в мировой истории случай, когда становление и сейсмологии и демократии в регионе было связано с профессиональной деятельностью одного человека – Александра Антоновича Пурина, уроженца глухого мало кому известного латвийского городка, выпускника Петербургского электротехнического института, первого сейсмолога Камчатки и ее первого демократически выбранного руководителя.

Список литературы

Аров В.Н. Административно-территориальное управление Камчатским краем (1697-1917 гг.) // Вопросы истории Камчатки. Выпуск 3. Петропавловск-Камчатский: Новая книга, 2007. С. 355-405.

Викулин А.В. Сейсмические вехи // Проблемы сейсмичности Дальнего Востока / Ред. А.В. Викулин. Петропавловск-Камчатский: ОМСП ГС РАН, 2000. С. 276-281.

Викулин А.В., Надольская Н.И. История развития образования и науки в мире, России и на Камчатке // Вестник КГТУ. 2008. Вып. 8. С. 92-100.

Викулин А.В., Синельникова Л.Г. Начало сейсмологических наблюдений на Камчатке // Вулканология и сейсмология. 1985. № 6. С. 102-106.

Викулин А.В., Семенец В.Н., Широков В.А. Землетрясение будет завтра. Петропавловск-Камчатский: СЭТО-СТ, 1987. 82 с.

Вопросы истории Камчатки. Вып. 3. Петропавловск-Камчатский: Новая книга, 2007. 472 с.

Вопросы истории Камчатки. Вып. 1. Петропавловск-Камчатский: Новая книга, 2008. 408 с.

Герман Ю. Дело, которому ты служишь. М.: Молодая гвардия, 1967. 416 с.

Дорфман Я.Г. Всемирная история физики. С древнейших времен до конца XVIII века. М.: ДомКнига, 2007. 352 с.

Замула Г., Нестеренко Г. Безопасность в небе рождается на Земле // Наука и жизнь. 2008. № 11. С. 46-50.

Комаров В.Л. Путешествие по Камчатке в 1908-1909 гг. Петропавловск-Камчатский: Новая книга, 2008. 429 с.

- Коянто В.* Олени бежали к морю. Петропавловск-Камчатский: Новая книга, 2008. 319 с.
- Лойцянский Л.Г.* Механика жидкости и газа. М.: Наука, 1973. 848 с.
- Наука и жизнь. Ежемесячный научно-популярный журнал. 2008. № 11. 160 с.
- Ожегов С.И.* Словарь русского языка. М.: Советская энциклопедия, 1964. 900 с.
- Петров Ю.А.* Династия Рябушинских. М.: Русская книга, 1997. 199 с.
- Пийп Б.И.* Дневники вулканолога Бориса Пийпа. М.: ЛОГАТА, 2006. 160 с.
- Пирагис А.П.* Правители Камчатки. 1700-2007. Краткий биографический справочник. Петропавловск-Камчатский: Новая книга, 2008. 112 с.
- Пурин А.А.* Землетрясения Камчатки и их регистрация. Петропавловск-Камчатский, 1917. 24 с.
- Пурин А.А.* В дни революции // Вольная Сибирь. Общественно-экономический сборник под общей редакцией И.А. Якушева. Прага. 1927. № 2. С. 61-92.
- Пурин А.А.* В дни революции в Охотско-Камчатском и Чукотско-Анадырском крае. Часть вторая. // Вольная Сибирь. Общественно-экономический сборник под общей редакцией И.А. Якушева. Прага. 1928. № 3. С. 61-83.
- Пурин А.А.* Из прошлого и настоящего Камчатки // Вопросы истории Камчатки. Выпуск 1. Петропавловск-Камчатский: Новая книга, 2008. С. 104-149.
- Пустовит В.П.* Антисоветский переворот 1918 г. в Петропавловске // Вопросы истории Камчатки. Вып. 3. Петропавловск-Камчатский: Новая книга, 2007. С. 306-329.
- Руденко Б.* Они учат летать самолеты // Наука и жизнь. 2008. № 11. С. 2-11.
- Советский энциклопедический словарь. М.: Советская энциклопедия, 1985. 1600 с.
- Чернышев С.Л.* Центр авиационной науки // Наука и жизнь. 2008. № 11. С. 12-16.
- Харитановский А.А.* Выдающийся натуралист Камчатки // Вопросы географии Камчатки. 1963. № 1. С. 41-58.
- Физический энциклопедический словарь. М.: Советская энциклопедия, 1983. 928 с.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА И ИХ АНТРОПОГЕННОЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ

Воронов Б.А., Махинов А.Н.

*Институт водных и экологических проблем ДВО РАН, Хабаровск;
e-mail: iver@iver.as.khb.ru*

Состояние водных ресурсов Дальнего Востока определяется комплексом факторов природного и антропогенного происхождения. Природные факторы связаны с неустойчивостью водного режима рек и большинства крупных озер в условиях муссонных черт климата, слабой способностью водных экосистем к самовосстановлению и специфическими особенностями формирования химического состава воды в пределах различных ландшафтов. Антропогенные факторы обусловлены разнообразными видами хозяйственной деятельности на территории региона, среди которых на качество поверхностных вод существенное влияние оказывают промышленные и бытовые стоки крупных городов, горнодобывающая деятельность, плоскостная и линейная эрозия на полях, сведение лесов и пожары. Важнейшим фактором, влияющим на качество воды в реках региона, в течение продолжительного времени остается трансграничный перенос загрязняющих веществ с территории КНР.

На значительной части территории Дальнего Востока формирование химического состава поверхностных вод происходит в естественных условиях, и качество воды характеризуется высокими показателями. Существенное негативное воздействие испытывают водные ресурсы в районах наиболее интенсивной хозяйственной деятельности. В Дальневосточном регионе к таким районам относятся: 1) реки бассейна Амура, 2) речные системы в зонах влияния ГОКов и разработок россыпных месторождений полезных ископаемых на территориях горнопромышленного освоения и 3) прибрежно-морские акватории, на берегах которых расположены крупные промышленные центры и порты.

В XX веке реки Восточной Азии стали главными источниками поступления в Тихий океан различных веществ антропогенного происхождения. Основной сток с поверхности суши осуществляется с территории бассейнов самых крупных речных систем - Амура, Хуанхэ, Янцзы, Меконга, которые выносят большое количество терригенных, растворенных и органических веществ.

В северо-западной части Тихого океана наиболее крупной речной системой является Амур. Он выносит ежегодно в Охотское и Японское моря 369.1 км^3 воды (для сравнения: объем воды Азовского моря оценивается в 300 км^3), около 24 млн. тонн взвешенных наносов, 20.2 млн. тонн растворенных веществ и 5.3 млн. тонн органических веществ (Чудаева, 2002). В российской части бассейна Амура формируется более 260 км^3 стока воды (6.4% от общероссийского). Поступает с территории КНР и МНР около 105 км^3 - 46.2% всего дополнительного стока на территорию России из сопредельных государств (Водно-экологические ..., 2000).

Природные условия бассейна Амура определяют особенности гидрологического режима реки на различных его участках. В многолетнем режиме водного стока Амура отчетливо выражено чередование периодов пониженной и повышенной водности каждый продолжительностью 10-15 лет (Makhinov, 2005). Последние 12 лет в среднем и нижнем течениях реки Амур отмечается пониженная водность. При этом в 2000, 2001, 2003 и 2008 гг. наблюдалась исключительно низкая летняя межень. В результате происходит зарастание кос, осушенных участков проток и днищ озер густой травянистой растительностью на обширных площадях, оцениваемых только в нижнем течении реки величиной около 1200 км^2 . После поднятия уровня воды в конце лета и осенью в реку с этих участков поступает значительное количество органического материала, достигающего в отдельные годы 1.5-2.0 млн. тонн.

Основная часть водного стока реки Амур формируется в его среднем течении. На этом участке на протяжении около 1000 км в Амур впадают наиболее крупные притоки – реки Зея, Бурей, Сунгари и Уссури, дающие в сумме около 65% амурского стока. Однако по сезонам года этот показатель сильно изменяется. В зимний период сток только трех зарегулированных рек (Сунгари, Зея, Бурей) достигает 90% от стока Амура. Таким образом, зимой в нижнем течении реки качество воды во многом определяется стоком из водохранилищ указанных рек.

Глобальное изменение климата способствует увеличению неравномерности стока воды в Амуре и его крупных притоках. Однако наиболее интенсивное влияние на изменение гидрологического режима рек оказывают ГЭС. В настоящее время в бассейне р. Амур действуют три крупных ГЭС – Зейская, Бурейская и Фыньманская. Общая площадь водосбора, регулируемая ими, составляет около 10%. Под их влиянием водный режим Амура в среднем и нижнем течениях претерпел заметные преобразования, поскольку водохранилища ГЭС изменяют сток рек коренным образом. В результате активизируются процессы размыва берегов, происходит перераспределение стока воды между рукавами, осложняются условия работы городских водозаборов, в частности в городах Хабаровск и Амурск.

Одна из наиболее сложных водохозяйственных проблем региона связана с загрязнением воды реки Амур (Воронов, 2007). Следует отметить, что качество вод Амура в его среднем и нижнем течениях в значительной мере зависит от того, что несут воды реки Сунгари, полностью расположенной в пределах КНР, водосбор которой занимает 29% площади амурского бассейна. В 30 км ниже впадения реки Сунгари в Амуре более 80% соединений азота и 70% фосфатных комплексов имеют сунгарийское происхождение (Шестеркин, 2007). В связи с тем, что в последние 10 лет в летний период на Амуре отмечаются особенно низкие уровни воды, сброс промышленных и коммунальных стоков негативно отражается на состоянии водных ресурсов реки Амур. Только с российской части бассейна в Амур ежегодно сбрасывается около 1 млрд. м³ сточных вод в год, из них более 400 млн. м³ загрязненных (недостаточно очищенных), из которых около 15% неочищенных.

В китайской части по различным экспертным оценкам (официальных данных нет) в бассейн Амура сбрасывается от 6.5 до 15 млрд. м³ сточных вод, из которых более 90% относятся к категории загрязненных (Ганзей, 2008). В результате поступления в Амур сточных вод река сильно загрязнена на всем своем протяжении и оценивается по качеству воды от 3 класса (умеренно загрязненные воды) до 6 (очень грязные воды) из семи классов, принятых в России.

Как было установлено исследованиями ИВЭП ДВО РАН, особенно резкое ухудшение качества воды в реке Амур произошло в последнее двадцатилетие в ее нижнем течении, что обусловлено активизацией хозяйственной деятельности в бассейне и возрастанием трансграничного переноса загрязняющих веществ. В водах реки во все фазы водного режима обнаруживаются высокие концентрации летучих и нелетучих органических соединений, пестицидов, полиароматических углеводородов, тяжелых металлов. По данным многолетних исследований наблюдается накопление токсичных веществ в донных русловых и пойменных отложениях, в водорослях, водной и околотоводной растительности, моллюсках и рыбе.

Распашка земель, вырубка леса и усиление водной эрозии обусловили поступление в реки значительного количества взвешенных частиц. В нижнем течении Амура терригенный сток увеличился по сравнению с 60-ми годами XX века на 10-15%. Увеличение терригенного стока повышает неустойчивость русла, активизирует эрозионные процессы. В результате происходит преобразование пойменных экосистем, дробление русла на рукава, формирование обширных отмелей, усиливается неравномерность скорости течения воды и объемов стока. Все это имеет негативные последствия для водных экосистем Приамурья.

Химический сток воды характеризуется сезонным и многолетним непостоянством. Качество воды в реке Амур существенно ухудшается в зимний период в связи с резким уменьшением стока воды. Ежегодно в начале зимы в Амуре на участке ниже устья р. Сунгари отмечается отчетливо выраженный запах воды, который распространяется вниз по реке со скоростью 15-20 км/сутки. Наиболее низкие показатели качества воды достигают в конце зимы. По данным ИВЭП ДВО РАН в этот период ниже впадения реки Сунгари в Амуре отмечаются высокие содержания многих химических веществ. Минерализация увеличивается здесь в 2-3 раза, содержание аммонийного азота возрастает в 2-5 раз, нитритного азота в 5-13 раз, фосфатов в 3-4 раза, растворенного в воде кислорода в 1.5-2 раза по сравнению с амурской водой из вышерасположенного участка реки (Шестеркин, 2007).

В летний период при высоких температурах воды, превышающих 20 градусов в течение длительного времени, усиливается развитие сине-зеленых водорослей, биомасса которых резко увеличивается, ухудшая качество воды. Для реки Амур это особенно актуально в связи с существенным трансграничным микробиологическим, паразитологическим и химическим загрязнением. Бактериологические показатели наиболее чувствительны при определенной степени загрязненности водоема. Известно, что по содержанию сапрофитов загрязнение воды обнаруживается при разбавлении ее в десятки и сотни тысяч раз. Высокая степень антропогенной нагрузки превышает природные возможности биологического самоочищения водных экосистем.

Мутность воды Амура за счет влияния Сунгари летом увеличивается в четыре раза. Шлейф более мутной сунгарийской воды хорошо виден на космических снимках и фиксируется в распределении по ширине реки различных химических веществ. Об этом же свидетельствует, в частности, тщательное изучение содержания тяжелых металлов и других ингредиентов в поперечном сечении р. Амур в 20 км выше г. Хабаровска, проведенное в октябре 2005 г. Институтом водных и экологических проблем ДВО РАН в рамках Программы ДВО РАН «Комплексные экспедиционные исследования природной среды бассейна р. Амур». Анализы, выполненные в лаборатории физико-химических методов ИТиГ ДВО РАН, показывают, что у правого берега р. Амур в районе г. Хабаровск, вдоль которого течет в основном сунгарийской поток, вода содержит на 20-40% больше кобальта, железа, марганца и других металлов, чем у левого.

Существенное загрязнение воды в Амуре, обусловленное стоком из реки Сунгари, было зафиксировано во время паводка в июле 1998 г. При снижении расходов воды в Амуре у Хабаровска ее мутность и минерализация существенно увеличивались, превышая фоновые показатели в 9-10 раз и достигая максимальных величин за весь период наблюдений (Ким, Шамов, 2000).

Ситуация с загрязнением реки Амур продолжает ухудшаться в связи с усилением хозяйственного использования водных, земельных и биологических ресурсов в бассейне Амура на территории России и особенно в Китае, а также участвовавшими в последнее время авариями на химических предприятиях, расположенных в бассейне реки Сунгари (территория КНР).

Техногенные аварии и значительные выбросы загрязняющих веществ в реку Амур происходили в августе 1998 г. во время крупного наводнения на р. Сунгари, в июле 2003 г., когда по Амуру в районе Хабаровска в течение трех дней плыли обширные поля грязной пены, покрывающей почти всю поверхность реки. Залповые поступления в реки различных загрязняющих веществ в результате аварий на промышленных предприятиях, особенно химического профиля случаются практически ежегодно и создают существенную угрозу жизни и здоровью многих миллионов людей.

13 ноября 2005 г. на химическом заводе Цилиньской нефтехимической компании в г. Цилинь (Гирин), произошла серия взрывов и возник пожар. В воды р. Сунгари попало более 100 тонн бензола и нитробензола, которые стали быстро распространяться вниз по реке, еще не успевшей к этому времени покрыться льдом. В низовьях Сунгари движение

загрязненных вод замедлилось вследствие уменьшения скоростей течения, вызванного малыми уклонами реки и ледоставом, который в этом году установился позднее обычного – в самом конце ноября. Концентрация нитробензола в воде достигала в районе города Тунцзян (последний китайский город перед впадением Сунгари в Амур) максимальных значений около 0.2 мг/дм^3 .

Вечером 16 декабря передний фронт зоны загрязнения достиг Амура. В 30 км ниже устья Сунгари заранее был организован первый пункт российско-китайского мониторинга (с. Нижнеленинское), где через каждые 3 часа отбирались пробы воды у левого, правого берегов и посередине реки.

Там, где Амур полностью вступает на территорию России, также велись режимные наблюдения за качеством воды в реке. Максимальное содержание нитробензола в воде достигало 0.079 мг/дм^3 у правого берега, 0.065 мг/дм^3 на фарватере и 0.037 мг/дм^3 у левого берега Амура (измерения проводились у с. Нижнеспасское в 220 км ниже места впадения р. Сунгари в Амур).

Полученные в процессе мониторинга данные о прохождении по р. Амур загрязненных вод, поступивших из р. Сунгари, свидетельствуют о сложном характере их распространения по течению реки. Основным маркирующим веществом, определяющим зону аварийного техногенного загрязнения вод Сунгари и Амур, был нитробензол, который в большом количестве попал в реку и при низкой температуре воды в течение длительного времени не подвергался преобразованию в другие производные бензольных соединений.

Компактная в русле реки Амур ниже устья Сунгари зона загрязнения факелообразной формы с максимальными содержаниями нитробензола в головной части, протягивающаяся вдоль правого берега, постепенно распространялась на всю ширину реки по мере продвижения вниз по течению. Лишь примерно в 100 км ниже Хабаровска (370 км ниже устья Сунгари) произошло полное перемешивание сунгарийских и амурских вод с близкими концентрациями загрязняющих веществ по всей ширине реки от одного берега к другому.

В изменении максимальных концентраций нитробензола по длине р. Амур выделяется два участка – верхний протяженностью около 350 км и нижний, прослеженный на 700 км. На верхнем участке происходило быстрое снижение содержаний нитробензола в результате разбавления сунгарийского и амурского потоков. Так, от с. Нижнеленинское (30 км ниже устья Сунгари) до г. Хабаровска содержание его уменьшилось от 0.209 до 0.076 мг/дм^3 . На нижнем отрезке концентрации нитробензола уменьшались значительно медленнее в основном за счет включения его в лёд и донные отложения, а также крайне слабых химических преобразований в другие бензольные соединения.

Полученные в ходе мониторинга результаты позволили оценить общее количество нитробензола, переносимого рекой на различных ее участках. Так, например, у г. Хабаровск в первые сутки прошло около 8.5 тонн нитробензола и приблизительно 30 тонн за весь период его движения по реке. Следовательно, основная масса нитробензола и сопутствующих химических веществ временно отложилась на вышележащем участке Амура и в Сунгари, рассредоточившихся на большом пространстве.

Большую роль в уменьшении концентраций нитробензола во время техногенной аварии оказали пуски воды из китайских водохранилищ. Эти приемы использовались, в частности, в период угрозы экологического загрязнения реки Амур после аварии на реке Сунгари в ноябре 2005 г. и показали свою высокую эффективность. Они увеличили расход Сунгари в 4 раза. В результате уровень воды в Амуре поднялся более чем на 1.0 м (по Хабаровску 1.3 м). Сброс был осуществлен таким образом, чтобы наиболее загрязненные воды прошли на его пике. Без него пятно двигалось бы медленнее, а концентрации были бы более высокими. Таким образом, в бассейне Амура имеется возможность с высокой эффективностью оперативно управлять водными ресурсами с целью смягчения неблагоприятных последствий чрезвычайных экологических ситуаций.

Крупные российские водохранилища расположены слишком далеко от нижнего течения р. Амур, наиболее уязвимого участка реки. Однако их, а особенно Бурейское водохранилище, можно использовать для экологических попусков в случае необходимости.

Высокую эффективность показали гидротехнические сооружения в русле Амура. Строительство переливных дамб в истоках проток Пемзенской и Бешеной благоприятно сказалось на качестве воды в районе головного водозабора г. Хабаровска, поскольку менее загрязненные воды вдоль левого берега р. Амур были направлены в главное русло Амура, оттеснив загрязненные воды от расположенного у левого берега водозабора. Положительную роль сыграло возведение временной дамбы в протоке Казакевичевой (Амурской), преградившей сток загрязненных вод к южной части города Хабаровска, для водоснабжения которой используется вода из Амурской протоки.

В марте 2006 г. на основе соглашения между правительствами Хабаровского края и провинции Хэйлунцзян проводился совместный российско-китайский экстренный мониторинг состояния экосистемы р. Амур. Его целью была оценка последствий трансграничного загрязнения реки Амур, вызванного аварией на химическом предприятии в г. Цилинь осенью 2005 г. В реках Сунгари (гг. Харбин, Цзямусы и Тунцзян) и Амур (с. Нижнеленинское, гг. Фуюань, Хабаровск и Комсомольск-на-Амуре) в марте были отобраны пробы воды, керны льда и образцы донных отложений.

Исследования, проведенные в лабораториях Хабаровска, Обнинска и Уфы, показали постоянное присутствие в воде, льду и донных отложениях различных летучих органических веществ – бензола, толуола, этилбензола, ксилола, а также хлороформа, тетрахлорметана и различных хлорбензолов. Среди тяжелых металлов повышенное содержание в воде отмечалось для меди, ртути, никеля, цинка, свинца и кадмия. Концентрации обычно не превышали ПДК, но, учитывая большие расходы воды Амура, объем стока загрязняющих веществ в количественных показателях характеризовался значительными величинами. В воде реки Амур ниже впадения Сунгари выявлены органические соединения, среди которых особую опасность представляют фталаты, бифенилы, атразин, бензо(в)флуорантен, производные циклогексана и другие хлорорганические соединения.

Исследования, выполненные ИВЭП ДВО РАН и ИБМ ДВО РАН в 2007 г. по программе ДВО РАН «Комплексные экспедиционные исследования природной среды в бассейне р. Амур», показали достаточно быстрое восстановление качества воды в реке Амур после техногенной аварии в Китае. Вместе с тем, был подтвержден общий высокий уровень содержания различных загрязняющих веществ в воде и донных отложениях в низовьях реки и Амурском лимане.

В результате масштабных сбросов неочищенных бытовых стоков в водах Амура содержится большое количество различных бактерий и вирусов, в том числе и болезнетворных. На протяжении последних пяти лет Хабаровская краевая санитарно-эпидемиологическая станция обнаруживает в пробах воды в окрестностях Хабаровска возбудителей холеры и кишечных заболеваний, антигены вирусного гепатита А. Уровни заболеваемости дизентерией и гепатитом А у населения Приамурья, около 70% которого обеспечивается амурской водой, в два раза превышают среднероссийские показатели.

Трансграничное воздействие на количественные и качественные показатели воды в реке Амур на территории Российской Федерации трудно оценить, используя лишь данные мониторинга российской стороны. Существующий в настоящее время российско-китайский мониторинг вод на пограничных реках недостаточно эффективен вследствие его направленности на получение фоновых характеристик. Необходима разработка нового межгосударственного договора об организации оперативного комплексного мониторинга трансграничных рек по широкому спектру гидрологических и гидрохимических показателей.

Ухудшение качества водных ресурсов отмечается в районах деятельности горнодобывающих предприятий, расположенных преимущественно в северных районах региона (Шевцов и др., 1998). Особенно существенную негативную роль в формировании качества воды играют крупные длительно действующие горно-обогатительные комбинаты. В Хабаровском крае это прежде всего Многовершинный, Рябиновый, Тас-Юрях, Солнечный и другие ГОКи. В их окрестностях в поверхностных водах отмечаются высокие содержания взвешенных веществ, хлоридов, сульфатов, нитритов, аммония, тяжелых металлов (табл. 1).

Таблица 1. Изменение химического состава воды р. Тарынг-Лата под влиянием ГОКа на севере Хабаровского края (август 2005 г.), в мг/дм³

Местоположение	NH ₄ ⁺	CL ⁺	SO ₄ ²⁺	NO ₂ ⁻	Pb	Cu	Ni	Zn
Выше ГОКа	0.72	0.71	0.62	0.73	0.013	0.030	0.004	0.004
В районе ГОКа	0.61	2.13	0.67	1.20	0.016	0.002	0.003	0.004
Ниже ГОКа	1.54	20.56	10.82	4.24	0.006	0.011	0.001	0.004
Хвостохранилище	5.10	347.41	165.10	18.04	0.023	2.00	0.010	0.209
Оборуд. дренаж	12.60	171.93	54.58	30.98	0.008	0.012	0.003	0.005
Отводная канава	1.05	2.13	4.50	1.43	0.009	0.019	0.004	0.004
Карьерные воды	9.55	12.05	80.15	50.26	0.008	0.002	0.003	0.004

Большое влияние на мутность воды оказывают физико-географические условия и, прежде всего интенсивность процессов химического выветривания, в результате которого происходит образование наиболее мелких по размеру частиц. Данные многочисленных измерений мутности воды в водотоках, на которых ведутся разработки россыпных месторождений, показывают, что в северном Приохотье содержание взвешенных веществ составляет 600-1200 мг/л. В южных районах Дальнего Востока в условиях более влажного и теплого климата этот показатель превышает 4000 мг/л при близких морфологических характеристиках водотоков. Эти естественные различия в формировании терригенного стока при горнопромышленном освоении территории необходимо учитывать при планировании и осуществлении мероприятий по защите поверхностных вод от загрязнения воды взвешенными веществами.

В северных районах территории мала эффективность прудов-отстойников вследствие высоких показателей фильтрационных свойств отложений ложа и дамб прудов-отстойников. Наличие мощного слоя многолетнемерзлых пород и почти полное отсутствие таликов в верхних звеньях речной сети обуславливают практически весь объем стока загрязненных вод в поверхностные водотоки. Подмерзлотные подземные воды в этих условиях остаются достаточно надежно защищенными от загрязнения.

В южных районах рассматриваемой территории имеется возможность создания дамб и прудов-отстойников с более высокими экранирующими свойствами, что ослабляет фильтрацию загрязненных вод, но не препятствует их частично поступлению в глубокие горизонты. Кроме того, важным фактором распространения загрязнений в речных системах является большое количество летних атмосферных осадков и ливневый характер их выпадения. Они вызывают переполнение прудов, прорывы дамб, активизацию русловых деформаций, что в конечном счете приводит к залповым выбросам загрязнений в реки.

Районы разработок месторождений, помимо их существенного ландшафтного преобразования, являются источниками загрязнения поверхностных вод (Махинов и др., 2007; Шестеркин, 1994). Исследования, проведенные в 1995-2008 гг. в северных районах Хабаровского края, позволили оценить степень собственно горнопромышленного воздействия на водные ресурсы территорий, не подверженных другим видам деятельности.

Мутность воды в водотоках, расположенных в зоне деятельности горных предприятий, возрастает в десятки и сотни раз. Так, например, в период таяния снега

мутность воды в водотоках после завершения разработок россыпных месторождений при небольших подъемах уровня воды составляет 400-500 мг/л. При освоении рудных месторождений поступление взвешенных веществ в реки существенно сокращается.

Установлены высокие содержания сульфатов, фосфатов, аммония и некоторых металлов (цинк, медь, железо) в хвостохранилищах золотоизвлекательных фабрик. В верхних отстойниках отмечается также повышенные концентрации цианидов. Аналогичные характеристики, но с несколько меньшими показателями выявлены в водотоках, стекающих от подножий верхних отстойников. Все это свидетельствует о дренаже хвостохранилищ и смыве загрязняющих веществ с водосборов, подверженных хозяйственной деятельности. В условиях широкого распространения многолетнемерзлых пород и вследствие их слабых фильтрационных свойств загрязняющие вещества в конечном итоге поступают в речную сеть.

Изменение качества воды в водотоках горнодобывающих районов отмечается в течение нескольких лет после завершения деятельности предприятия даже в условиях слабой и небольшой по площади нарушенности территории (табл. 2). Источниками поступления загрязняющих веществ в поверхностные водотоки могут являться химические вещества брошенных реагентов на промплощадках при смыве во время дождей, а также не утилизированные отходы при переработке древесины или других материалов, сопровождающих производственную деятельность.

Таблица 2. Показатели качества воды в ручьях в период до начала (1995 г.) и после завершения работ (2006 г.) в окрестностях одного из ГОКов на севере Хабаровского края

№ п/п	Показатель качества воды	Ручей Беспрозванный		Ручей Дугуян	
		1995	2006	1995	2006
	мг/дм ³				
1.	Взвешенные вещества	418.0	Менее 3	384.0	6.0
2.	рН	6.87	7.17	7.40	7.41
3.	Кальций	6.0	21.64	10.0	32.87
4.	Магний	1.21	11.43	8.4	18.24
5.	Железо общее	2.0	0.05	5.2	0.08
6.	Гидрокарбонаты	24.4	106.2	48.8	184.3
7.	Сульфаты	31.2	17.0	40.9	Менее 10

Таким образом, воздействие нарушенности природной среды при разработке месторождений на химический состав воды проявляется локально в основном в верхних звеньях речной сети и практически не отражается на качестве воды достаточно больших водотоков после завершения деятельности горнодобывающих предприятий. Однако мониторинг состояния качества поверхностных вод необходимо проводить также после окончания работ по добыче полезных ископаемых.

С каждым годом в дальневосточном регионе все более острой становится проблема загрязнения морских акваторий, которой в настоящее время уделяется неоправданно мало внимания. Однако эпизодическими исследованиями установлено прогрессирующее загрязнение морских акваторий в районах деятельности крупных портов и населенных пунктов, расположенных на берегах морей. Основными источниками загрязнения прибрежно-морских акваторий являются деятельность морских портов, сбросы промышленных и коммунальных стоков, речной сток, ливневой смыв с городских и обезлесенных территорий, поступление в прибрежную зону бытового мусора и промышленных отходов, включая брошенные морские суда.

Особенно сильное влияние хозяйственной деятельности сказывается в прибрежных водах Японского моря. На его берегах в Приморском крае расположены крупные порты Восточный, Находка, Владивосток, Посыет, в Хабаровском крае - Ванино, Де-Кастри, Советская Гавань и Лазарев. В пределах их акваторий установлено существенное

загрязнение морских вод за счет антропогенного воздействия. В частности, в бухте Ванина выявлено превышение ПДК в несколько раз по таким показателям как взвешенные вещества, нефтепродукты, аммоний, нитраты, железо (Махинов, Шевцов, 2004). Отмечены повышенные по сравнению с фоновыми содержания в воде различных других веществ антропогенного происхождения. Обнаружены высокие содержания нефтепродуктов, тяжелых металлов и органических веществ в морских донных отложениях в пределах акватории портов.

Происходит загрязнение морской акватории на ее прилегающей к устью Амура части, обусловленное стоком реки Амур. Экологическое состояние прилегающих к устью Амура акваторий Охотского и Японского морей в настоящее время изучено весьма слабо. Активная хозяйственная деятельность в этом районе продолжается всего лишь 150 лет, однако имеется много свидетельств о регулярном обострении ряда экологических проблем в Амурском лимане и Сахалинском заливе.

Около 70 % водного стока суши в Охотское море приходится на Амур. Увеличившиеся за последние десятилетия поступления в море терригенного и растворенного стоков являются существенным фактором загрязнения юго-западной части Охотского моря и Татарского пролива. В условиях продолжающегося активного поступления в Амур разнообразных химических веществ антропогенного происхождения вследствие хозяйственной деятельности в бассейне следует ожидать распространения их на более значительные по площади акватории морей. Загрязнение приморских территорий и прилегающих морских акваторий происходит также в результате разработки нефтяных и газовых месторождений на Северном Сахалине. Для устьевой части Амура этот фактор имеет второстепенное значение, поскольку морские течения направлены вдоль восточного побережья Сахалина на юг.

По данным многолетних наблюдений Дальневосточного управления по гидрометеорологии и контролю окружающей среды за период с 1981 по 2003 годы была проведена количественная оценка выноса рекой Амур в морскую акваторию нитритного, нитратного азота и фосфатов по средним годовым концентрациям указанных веществ.

Среднее содержание нитритного азота в воде р. Амур за многолетний период составляет 0.016 мг/дм^3 . С учетом среднего годового стока воды, равного 369.1 км^3 , ежегодный сток нитритного азота из Амура в море составляет около 5 900 тонн.

Нитратный азот содержится в амурской воде в количестве 0.110 мг/дм^3 . Его вынос Амуром в прилегающие морские акватории составляет в среднем около 41 000 тонн в год ежегодно.

Среднемноголетнее содержание фосфатов в воде р. Амур составляет 0.050 мг/дм^3 . Соответственно, годовой сток этого вещества, выносимого из бассейна р. Амур в море, оценивается величиной около 18 500 тонн.

Негативное влияние на состояние прибрежных вод Охотского моря оказывает также деятельность горнодобывающих предприятий, расположенных преимущественно на его западном и юго-западном побережьях. Основными загрязняющими веществами являются взвешенные наносы, поступающие в море при разработке россыпных месторождений. В связи с развитием горных работ в регионе и планируемым переходом на разработку коренных месторождений увеличивается риск загрязнения морских акваторий тяжелыми металлами и химическими соединениями, используемыми в современных технологиях переработки руд.

Таким образом, имеющиеся в настоящее время данные о состоянии водных ресурсов несомненно будут служить важной информационной основой для научного обоснования методов обеспечения устойчивого и безопасного функционирования водохозяйственного комплекса Дальнего Востока. Основные мероприятия на ближайшую перспективу, необходимые для сохранения качества поверхностных вод региона как главного фактора его устойчивого развития, связаны с решением следующих задач:

- комплексная оценка глобальных изменений климата и многофакторного антропогенного воздействия на многолетние и сезонные изменения условий формирования и качества водных ресурсов Дальнего Востока,
- оценка динамики трансграничного загрязнения воды, донных отложений и биологических объектов рек Амур, Уссури, Раздольная на пограничных участках и в нижних течениях в пределах территории России,
- оценка последствий техногенной аварии в г. Цзилинь (КНР) в 2005 г. на загрязнение воды, донных отложений и гидробионтов реки Амур,
- изучение изменений внутригодового стока рек Амур, Зея и Бурея в результате строительства крупных гидроэлектростанций в бассейне Амура,
- исследование русловых деформаций и процессов перераспределения стока на многорукавных участках рек, динамики терригенного стока и условий седиментации наносов в русле, эстуарии и лимане Амура и других крупных рек региона,
- изучение условий формирования и масштабов локальных наводнений в реках муссонных областей Дальнего Востока,
- изучение процессов загрязнения вод и донных отложений в пределах прибрежно-морских акваторий Охотского и Японского морей,
- выполнение комплекса работ по созданию эффективного комплексного российско-китайского мониторинга пограничных рек.

Список литературы

- Водно-экологические проблемы бассейна реки Амур. Владивосток: ДВО РАН, 2003. 187 с.
- Воронов Б.А.* Состояние экосистем бассейна реки Амур // Водные ресурсы суши в условиях изменяющегося климата. СПб.: Наука, 2007. С. 174-181.
- Ганзей С.С.* Состояние природной среды в российской части бассейна р. Амур в пределах Дальневосточного Федерального округа // Регионы нового освоения: экологические проблемы, пути их решения. Хабаровск: ДВО РАН, 2008. С. 36-40.
- Ким В.И., Шамов В.В.* Характеристика твердого стока Среднего Амура. // Геохимические и эколого-биогеохимические исследования в Приамурье. Вып. 10. Владивосток: Дальнаука, 2000. С. 186-191.
- Махинов А.Н., Махинова А.Ф., Шевцов М.Н.* Состояние водных ресурсов в районах деятельности золотодобывающих предприятий Приохотья // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2007. № 0615. С.277-287.
- Махинов А.Н., Шевцов М.Н.* Оценка состояния качества воды прибрежной акватории Татарского пролива (Японское море) // Шестой международный конгресс «Вода: экология и технология», Москва, ЭКВАТЭК-2004. Мат-лы конгресса. Ч. 1. М., 2004. С. 105-106.
- Чудаева В.А.* Миграция химических элементов в водах Дальнего Востока. Владивосток: Дальнаука, 2002. 392 с.
- Шевцов М.Н., Караванов К.П., Махинов А.Н. и др.* Водные ресурсы горнорудных районов и их преобразование (юг Дальнего Востока). Хабаровск: Изд-во Хабар. гос. техн. ун-та, 1998. 159с.
- Шестеркин В.П.* Влияние добычи и переработки рудного золота на качество речных вод Приамурья. // Биогеохимические и экологические оценки техногенных экосистем бассейна реки Амур. Владивосток: Дальнаука, 1994. С. 98-105.
- Шестеркин В.П.* Зимний гидрохимический режим Амура // Вестник ДВО РАН. 2007. № 4. С. 35-43.
- Makhinov A.N.* Amur terrigene and chemical discharge formation // Report on Amur-Okhotsk Project. Proceedings of the International Kyoto symposium 2005. Research Institute for Humanity and Nature, Kyoto, Japan. 2005. P. 61-65.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ТЕРМАЛЬНОГО ОЗЕРА В АКТИВНОМ КРАТЕРЕ ВУЛКАНА ГОРЕЛЫЙ (КАМЧАТКА)

Гавриленко Г.М., Мельников Д.В., Овсянников А.А.

*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский;
e-mail: geo_gavrilenko@mail.ru*

Введение

Изучение кислых термальных озер, локализованных в кратерах активных вулканов, представляет как теоретический, так и практический интерес, что обусловлено их связью с процессами близповерхностной газогидротермальной деятельности и современным эндогенным рудообразованием. Кроме того, исследования кратерных озер активных вулканов актуальны в связи с проблемой средне- и краткосрочного прогноза извержений и оценкой опасности, связанной с ними. Озеро в активном кратере в. Горелый в этом плане является идеальным объектом, где могут решаться перечисленные выше задачи.

Озера – это природные водоемы в углублениях суши (котловинах), заполненные разнородными водными массами. Имеется немало работ, посвященных генетической классификации озер, поскольку определение типа озера сводится к выяснению его генезиса, который определяет не только морфологию, но и другие особенности озера. В разное время целым рядом авторов предлагались различные классификации озер, основанные на их генезисе. Хотя в настоящее время твердо установлено, что тип озера является не только функцией генезиса котловины, но и функцией истории его развития в определенной физико-географической среде.

Одна из наиболее приемлемых в настоящее время генетических классификаций озер предложена М.А. Первухиным (1937). Среди основных классов озер он выделяет: I – эндогенные; II – экзогенные; III – органогенные; IV – антропогенные и V – смешанные (гетерогенные). В данном сообщении рассматриваться одно из озер I типа, 2-го подтипа, т.е. вулканическое (бессточное) озеро, а именно - кратерное озеро вулкана Горелый (Южная Камчатка).

Формы проявления современного вулканизма на нашей планете весьма разнообразны вследствие огромного различия условий и обстановок, в которых вулканическая активность реализуется на земной поверхности. Так, среди многообразия обводненных активных вулканических сооружений с различными гидрологическими режимами особое место занимают вулканы, в активных кратерах которых существуют различные периоды времени кислые термальные озера. Приблизительно 12% из более чем 700 наземных голоценовых вулканов Земли имеют кратерные озера. Часть из них - пресные (нейтральные). Они формируются за счет атмосферной влаги в неактивных кратерах как действующих, так и потухших вулканов. Другая часть озер – это кислые термальные в той или иной степени минерализованные. Они образуются в активных кратерах действующих вулканов. Источником воды, тепла и растворенных компонентов в таких озерах являются атмосферные осадки, внутрикратерные термальные источники и субаквальные фумарольные выходы (Pasternak, Varecamp, 1997).

То есть, возникновение и существование вулканических озер определяется балансом глубинных флюидов и конвективного вулканического тепла, поступающих из недр вулканов, и атмосферными (вадозными) водами, скапливающимися в котловинах изолированных вулканических кратеров. Для таких кратерноозерных водных масс характерны самые различные и специфические, отличающиеся от других типов озер, физико-химические и гидрологические процессы, последние из которых контролируются внешними атмосферными условиями, строением (морфологией) озерной чаши и восходящими со дна разномасштабными газогидротермальными струями (грифонами).

Объект исследований

Вулкан Горелый относится к III-му гидрологическому типу обводненных активных вулканов по классификации Г.М. Гавриленко (2004) и входит в южную часть Восточного вулканического пояса Камчатки. Расположен он в 75 км к югу от г. Петропавловска-Камчатского и в 12 км к северо-западу от в. Мутновский. Постройка вулкана представляет собой хребет, сформированный из нескольких перекрывающих друг друга конусов и большого количества моногенных шлаковых построек побочных прорывов (рис. 1).



Рис 1. Общий вид на хребет вулкана Горелый с востока (лето 2008 г.). Над центральным активным кратером виден небольшой паро-газовый выброс с поверхности термального озера. Фото Г.М. Гавриленко.

На вершине вулкана имеется четыре крупных кратера, внутри которых располагается ряд мелких гнездообразных кратеров (Селянгин, Пономарева, 1999). Максимальная высота вулкана - 1829 м (рис. 2).

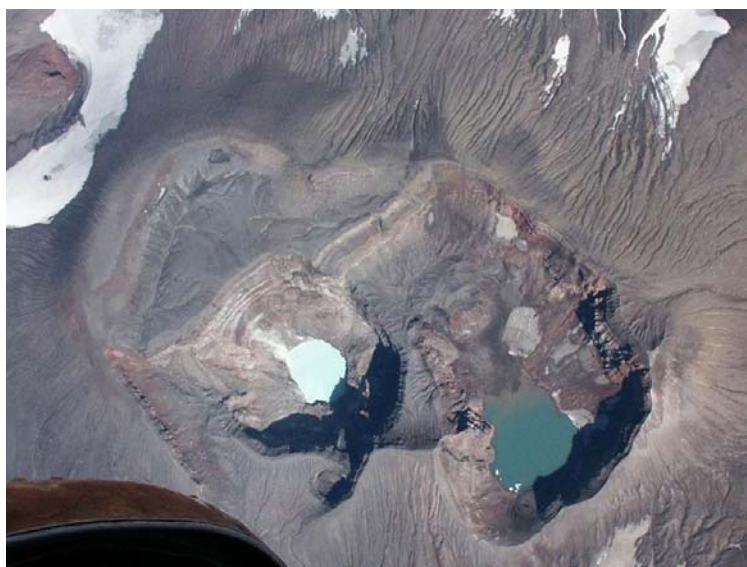


Рис 2. Плановый аэрофотоснимок трех западных кратеров вулкана Горелый. В центре - активный кратер с кислым термальным озером. Фото А.Ю. Озерова.

За исторический период в. Горелый извергался не менее 10 раз. Последние его извержения происходили в начале и середине 1980-х годов и характеризовались фреатомагматической деятельностью с выбросом пара и пирокластики на высоту от сотен

до 5000 м. Как извержения, так и интенсивная фумарольная деятельность в межпараксизмальные периоды, приурочены к центральному кратеру вулкана, где расположено в настоящее время кислое термальное озеро (Иванов и др., 1988; Мелекесцев и др., 1987).

По состоянию на первую половину 1990-х годов озеро располагалось и располагается в настоящее время в центральном активном кратере вулкана, имеющем «телескопическое» строение. Размеры озера в начале 1990 г. составляли ~ 70 м (рис. 3). Занимало оно дно воронкообразного «колодца» с практически отвесными стенками высотой до 100 м (Егоров и др., 1998). Сложенные рыхлым слоистым пирокластическим материалом стенки «колодца» постоянно осыпались. В бортах «колодца» и у уреза воды наблюдались многочисленные выходы фумарольных струй, формирующие в некоторых местах серные и сульфатные постройки высотой до 2 м. Глубина озера в те годы, впрочем как и сейчас, не установлена. Но, принимая во внимание форму «колодца», крутизну его стенок и свидетельства очевидцев, можно предполагать, что глубина озера составляла и составляет первые десятки метров.



Рис 3. Термальное озеро в активном кратере. Лето 1995 г. Фото М.Г. Гавриленко.

К сожалению, исследования, проводимые на вулкане многие годы, касались, главным образом, изучения строения его постройки, истории развития и описанию конкретных извержений и их продуктов. Об озерах вулкана и, в частности, о кислое озеро в центральном активном кратере можно встретить лишь отрывочные сведения, по которым можно судить, что оно существовало в 1960, 1978, 1979, 1980 и 1984 гг. (Кирсанов, Озеров, 1983) Перед каждым извержением вулкана озеро исчезало, а на его месте оставалась колодцеобразная воронка глубиной порядка 100 м, на дне которой, например, в 1985 г. наблюдалось светящееся пятно, ярко-желтый цвет которого свидетельствовал о температурах на дне кратера порядка 1000°C (рис. 4) (Иванов и др., 1988).

Кислое термальное озеро в Горелый последний раз образовалось и существует поныне, после извержения 1985-1986 гг. Возникло оно, вероятно, в конце 1980-х - начале 1990-х гг. (Gavrilenko et al., 1996). С этого же времени объем вод в озере стал постоянно увеличиваться. Соответственно, стал повышаться уровень озера и площадь его поверхности.



Рис. 4. Жерло в активном кратере вулкана Горелый в спокойный период эксплозивной фазы его деятельности (1986 г.). Фото А.В. Мушинского.

Уровень озера за период наблюдений (1992-2008 гг.) повысился более, чем на 50 м, а площадь его поверхности увеличилась в 10 раз (рис. 5, 6, 7, 8, 9, 10) (Melnikov et al., 2008). Причем наибольший скачек в увеличении площади озера пришелся на период 2004-2008 гг. Это объясняется тем, что до 2004 г. озеро заполняло узкую глубокую колодцеобразную воронку диаметром 50-80 м, а затем началось затопление днища более широкой и пологой части кратера (рис. 3). В любом случае, совершенно очевидно, что объем водных масс озера за период наблюдений вырос в несколько раз.



Рис. 5. Современное состояние озера. Январь 2008 г. Фото Г.М. Гавриленко.

Методы исследований

Чаще всего за озером велись визуальные и/или аэровизуальные наблюдения. А начиная с 2000 г. стали проводиться также и спутниковые наблюдения, что дало возможность отслеживать, в первую очередь, изменения площади поверхности озера. Полученная

спутниковая информация по возможности заверялась (контролировалась) во время полевых работ на вулкане (Мельников, Гавриленко, 2008; Melnikov et al., 2008).

Несмотря на сложность и опасность спуска к озеру в 1996, 2000 и 2001 гг., все же удалось отобрать пробы воды непосредственно из озера и измерить их температуру (Гавриленко, Гавриленко, 2005; Егоров и др., 1998; Okrugin et al., 2001).



Рис. 6. Активный кратер в. Горелый с озером в июле 2007 г. Фото Г.М. Гавриленко.



Рис. 7. Сильно загазованный активный кратер в. Горелый с озером в июле 2008 г. Фото Г.М. Гавриленко.

В 2008 г. возможности спуска к озеру не было, поскольку не было специалистов с альпинистской подготовкой. К тому же в активном кратере постоянно происходили камнепады и обвалы рыхлой пирокластики. В связи со сложившейся ситуацией для безопасного пробоотбора озерных вод нами был разработан и осуществлен следующий нестандартный метод.

Над озером в южном секторе кратера был навешен (протянут) капроновый несущий (основной) шнур длиной ~550 м. Один конец этого шнура был закреплен гипсометрически выше другого, т.е. шнур имел некоторый наклон. В верхней точке на шнур был закреплен карабин с блоком. К карабину был привязан оттяжной,

вспомогательный шнур длиной 200 м. Через блок был пропущен еще один (третий) шнур ~300 м с пробоотборником на конце.



Рис. 8. Термальное озеро в конце июля 2008 г. На всей поверхности озера видны поднимающиеся в атмосферу паро-газовые струи и плавающие разводы и пятна коллоидной серы. В правом нижнем углу четко виден подводный грифон. Фото Г.М. Гавриленко.



Рис. 9. Аэрофотоснимок термального озера в ноябре 2008 г. Состояние озера очень похоже на состояние его летом этого же года. Фото А.В. Сокоренко.

С помощью оттяжного шнура карабин с блоком и пробоотборником вытягивался по основному шнуру в такое положение, чтобы пробоотборник находился (нависал) над поверхностью озера. После этого шнур, к которому привязан пробоотборник, стравливался (выпускался) до погружения последнего в озеро. После заполнения пробоотборника водой он вытаскивался в порядке обратном вышеописанной схемы.

Этим методом мы смогли отобрать в летнее время с интервалом в 40 дней две пробы озерной воды, которые были доставлены в институт. В лабораторных условиях был проведен их химический анализ.

Предварительные результаты

Данные химических анализов кратерноозерных вод за разные годы, в том числе и за 2008 г. приведены в таблице. По своим основным характеристикам вода в озере в Горелый идентична водам кислых кратерных озер других активных вулканов мира. А именно, температура воды в озере за годы наблюдений составляла 40 ± 3.5 °С, имела высокую кислотность ($\text{pH} \leq 1$) и большую минерализацию (от >20 до ~ 40 г/л). Также

озерная вода содержит значительное количество коллоидной элементарной серы, что придает ей ярко-бирюзовый цвет, характерный для всех, без исключения, кислых вулканических озер.

Данная статья не преследует цель максимально полно проанализировать и обсудить имеющиеся и полученные в 2008 г. данные, поскольку материал совсем «свежий», естественно, пока еще недостаточно проанализированный и осмысленный. И одной из главных причин, об этом говорилось выше, является резкое изменение гидрологического режима озера в 2004 г., когда узкая колодцеобразная воронка диаметром 50-80 м полностью заполнилась термальными водами, и они стали заливать днище более широкой и пологой части кратера.

На данный момент мы смогли предварительно оценить температуру глубинных растворов, поступающих со дна кратера в водную толщу, и теплоотдачу с поверхности озера. Если исходить из предположения, что состав кратерноозерных вод является интегральным составом субаквальных гидротерм, то используя Na/K – геотермометр В.Ф. Гиггенбаха (Giggenbach, 1988) можно определить, что температура глубинных растворов составляет в среднем $\sim 340^\circ\text{C}$ (таблица). А теплоотдача (теловая мощность) с поверхности озера в 2008 г. оценена нами по формуле В.Ф. Гиггенбаха и Р.Б. Гловера (Giggenbach, Glover, 1975) приблизительно в 30 МВт.

Таблица. Химические составы кратерноозерных вод в разные годы для кислого термального озера вулкана Горелый

год	1996	2000	2001	2008а	2008б
T °C	37	42	44.5	~40	~40
pH	1.13	0.70	0.70	0.79	0.69
H ⁺	88.0	217.4	217.4	170.1	214.2
NH ⁴⁺	3.0	<0.1	<0.1	0.3	0.2
Na ⁺	460.0	450	496	329.2	359.5
K ⁺	77.0	174	198	121.0	121.0
Ca ²⁺	561.1	620	703	689.4	545.1
Mg ²⁺	778.2	508	782	544.5	486.1
Fe ²⁺	1334.8	1216	1295	3360.5	3500.1
Fe ³⁺	240.2	88	376	3.5	60.0
Al ³⁺	243.0	912	1118	1087.8	1219.6
Σкат.	3697.3	3968	4968	6307.2	6531.1
Cl ⁻	3354.8	6812	7103	5672.5	6027.0
SO ₄ ²⁻	5759.8	5196	6520	6205.5	5724.2
HSO ₄ ⁻	8906.2	12018	14955	11978.4	13629.6
SO ₃ ²⁻	252.3	-	-	-	-
S ₄ O ₆ ²⁻	476.0	4569	5566	2805.6	5379.4
F ⁻	151.2	423	432	203.2	221.1
Σанион.	18900.3	29018	34576	26865.2	30981.3
H ₄ SiO ₄ р-р	-	544	630	60.0 общ.	55.0 общ.
H ₄ SiO ₄ колл	-	238	348	-	-
H ₃ BO ₃	-	<0.5	<0.5	10.4	11.8
M, г/л	22.6	33.8	39.5	33.3	34.4
Fe/Al	6.48	1.43	1.49	3.09	2.92
T °C K-Na	277	331	373	363	352

Визуальные и аэровизуальные наблюдения за субэзальной и субаквальной деятельностью в период 1992-2008 гг. показали, что активность в озере ежегодно наращается. Не спадает она и в настоящее время, о чем свидетельствуют данные фотосъемки июля 2007 г. и июля 2008 г. (рис. 6 и 7), фотосъемки 16 января 2008 г., 28 июля 2008 г. и аэрофотосъемки 12 ноября 2008 г. (рис. 5, 8, 9).

Если учитывать наш опыт по изучению бессточного термального озера в. Малый Семячик и аналогичные данные по другим кратерным озерам, то совершенно очевидно постоянное увеличение активности в центральном кратере в. Горелый. Кроме того, помимо субэзальных фумарольных выходов по периметру озера и на внутренних стенках кратера, вмещающего его, в центральной части озера уже в июле 2007 г. впервые наблюдались четко оконтуренные и отличающиеся по цвету неподвижные пятна диаметром ~15-25 м, очевидно являющиеся проекциями на поверхность озера восходящих с его дна газогидротермальных струй (грифонов) (рис 10). Эти пятна были оконтурены ярко-желтыми ореолами флотационной коллоидной серы. Схожая ситуация (хотя и более контрастная) наблюдалась в период активизации в кратерном озере в. Малый Семячик в 1986 г. (Гавриленко и др., 1993).



Рис. 10. Поверхность озера летом 2007 г. Фото А.В. Сокоренко.

Последние два года над центральным (активным) кратером в. Горелый стали периодически наблюдаться парогазовые облака. Поэтому в начале 2008 г. (17 января) было произведено обследование кратера. Наблюдения показали, что стенки кратера и осыпи вокруг озера были покрыты снегом, на котором четко проступали термальные и фумарольные площадки. В средней части южной стенки кратера наблюдались необычные «трубы-отдушины» (рис. 5). Линейно расположенные термальные площадки и небольшие фумаролы под восточной и северной стенками кратера четко фиксировали контакт между стенкой кратера и проседающим блоком рыхлых осыпных вулканокластических пород. Уровень воды в озере стал выше, чем летом 2007 г. Крупные фумаролы в западной и северо-западных частях кратера вырывались со значительной скоростью в атмосферу прямо у самого уреза воды, а некоторые - из-под воды. Эта же картина характерна и для состояния кратера в ноябре 2008 г. (рис. 9).

В 2008 г. озеро обследовалось нами четыре раза. И каждый раз на кромке активного кратера помимо сернистых ощущался резкий запах галоидных газов (главным образом, HCl), что косвенно указывало на увеличение температуры фумарол, поступающих в атмосферу. Причем ситуация на озере в 2008 г. в периоды его посещений с каждым разом заметно менялась. Это выражалось в том, что водные массы озера становились все более подвижными, а паро-газовые выделения с поверхности озера - все более интенсивным. К тому же летом и осенью в юго-западной части озера наблюдался мощный подводный грифон (рис. 8), который оказался по данным тепловой аэросъемки В.А. Дрознина и И.К. Дубровской (выполненной в 2008 г.) не единственным вдоль всего западного берега озера.

Как уже отмечалось, несмотря на сложность спуска к озеру, нам все-таки удалось дважды отобрать пробы кратерноозерных вод (в конце июля и начале сентября). Это была четвертая и пятая удачные попытки опробования вод озера за все время его существования после последнего извержения (~20 лет назад). Температура воды на поверхности была порядка 40⁰С, что практически совпадает с данными дистанционной тепловой съемки В.А. Дрознина и И.К. Дубровской.

Хотя пробы воды отбирались и ранее, в предыдущие годы, наше двойное опробование с интервалом в 40 дней без сомнений является более информативным, поскольку дает возможность составить представление не просто о составе воды, но и судить о динамике субаквальных процессов в активном кратере за сравнительно короткий промежуток времени при фактически одинаковых внешних (погодных) условиях (лето).

Так, например, из таблицы видно, что за 40 дней рН кратерноозерных вод понизилась на 0.1, а содержания ряда макрокомпонентов и общая минерализация воды увеличились на 6 -1%, а для борной кислоты - на 13.5%.

Несмотря на то, что температура озера мало отличается от температур предыдущих лет, мы вправе судить, что конвективный тепловой поток возрос, поскольку водная масса озера увеличилась в несколько раз, а площадь его поверхности увеличилась на порядок, что повлекло за собой значительное увеличение теплопотерь со значительно большей поверхности озера.

Важно отметить и то, что в районе вулкана ежедневно практически уже более года фиксируется повышенный фон непрерывного вулканического спазматического дрожания. То есть мы можем предполагать на основе имеющего у нас комплекса данных, что в среднесрочной перспективе на в. Горелый может произойти извержение.

Выводы

1. Активный в. Горелый, представляющий собой вулканический хребет, в вершинной части имеет четыре крупных кратера, в трех из которых имеются озера. И только один - центральный активный кратер - вмещает кислое термальное озеро.

2. За последние полвека кислое термальное озеро в центральном кратере в. Горелый неоднократно исчезало и вновь возникало. Очевидно, этот процесс происходил и на более ранних этапах деятельности вулкана.

3. Исчезновение озера происходило перед началом извержений вулкана, предшествуя им. Так, например, было в 1980 и 1984 гг.

4. После окончания эксплозивных извержений 1980-х гг. в центральном действующем кратере вулкана вновь возникло термальное озеро, активность которого из года в год увеличивается. Причем максимум усиления субаэральной и субаквальной деятельности в кратере отмечен в последние годы: 2007-2008 гг.

5. В результате ежегодного мониторинга за состоянием озера в период с 1992 по 2008 гг. с применением самых разнообразных методов мы вправе считать, что в среднесрочной перспективе может произойти извержение вулкана, как это было в начале 1980-х гг. Поэтому упустить уникальную возможность, а именно - фазу перехода активной деятельности в озере к извержению - недопустимо.

Работы проводились при финансовой поддержке РФФИ (проект № 06-05-96002) и ДВО РАН (проект № 07-III-Д-08-092).

Список литературы

Гавриленко Г.М. Активные вулканы современных островных дуг: гидролого-гидрохимический аспект исследований // Вулканология и сейсмология. 2004. № 6. С. 49-64.

Гавриленко Г.М., Гавриленко П.Г. Кислое кратерное озеро вулкана Горелого (Камчатка) // Вопросы географии Камчатки. 2005. № 11. С. 56-57.

Гавриленко Г.М., Двигало В.Н., Фазлуллин С.М., Иванов В.В. Современное состояние вулкана Малый Семячик (Камчатка) // Вулканология и сейсмология. 1993. № 2. С. 37.

Егоров Ю.О., Гавриленко Г.М., Осипенко А.Б. и др. Состояние кислого озера в кратере вулкана Горелый, Камчатка летом 1996 года // Вулканология и сейсмология 1998. № 6. С. 100-106.

Иванов Б.В., Дроздин В.А., Вакин Е.А. и др. Извержение вулкана Горелый в 1985 г. // Вулканология и сейсмология. 1988. № 4. С. 93-98.

Кирсанов И.Т., Озеров А.Ю. Состав продуктов и энергетический эффект извержения вулкана Горелый в 1980-1981 гг. // Вулканология и сейсмология. 1983. № 1. С. 25-42.

Мелекесцев И.В., Брайцева О.А., Пономарева В.В. Динамика активности вулканов Мутновский и Горелый в голоцене и вулканическая опасность для прилегающих районов (по данным тефрохронологических исследований) // Вулканология и сейсмология. 1987. № 3. С. 3-18.

Мельников Д.В., Гавриленко Г.М. Применение аэрокосмических методов исследований для задач вулканологии (на примере Мутновского и Горелого вулканов, Камчатка) // Шестая всероссийская открытая ежегодная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса», М., ИКИР РАН, 10-14 ноября 2008. С. 231.

Первухин М.А. О генетической классификации озерных ванн // Землеведение. 1937. Т. 39, С. 526-537.

Селянгин О.Б., Пономарева В.В. Строение и развитие Гореловского вулканического центра, Южная Камчатка // Вулканология и сейсмология. 1999. № 2. С. 3-23.

Gavrilenko G.M., Osipenko A.B., Egorov Yu.O. Lake-phantom in the crater of the Gorely volcano, South Kamchatka // Current Research on Volcanic Lakes. Newsletter of the IAVCEI Commission on Volcanic Lakes, 1996. № 9. P. 9-10.

Giggenbach W.F. Geothermal solute equilibria. Derivation of Na – K – Mg geoindicators // Geochim. Et cosmochim. Acta. 1988. V. 52. № 12. P. 2749-2765.

Giggenbach W.F., Glover R.B. The use of chemical indicators in the surveillance of volcanic activity affecting the Crater Lake on Mt Ruapehu, New Zealand // Bull. of Volcanology. 1975. V. 39. P. 70-81.

Melnikov D.V., Gavrilenko G.M., Ovsianikov A.A. Conditions of the thermal acid lake of the active crater of Gorely volcano (Kamchatka, Russia) as a medium-term precursors of its next eruption // IAVCEI. General Assembly 2008. Reykjavik, Iceland. P. 90.

Okrugin V.M., Zelenskii M. E., Sergeeva S.V. et al. Last news about volcanic activity in Kamchatka peninsula: Mutnovsky and Gorely volcanoes especially // Bull. of Research Center for North Eurasia and North Pacific Regions, Hokkaido University, 2001. V. 1. P. 146-163.

Pasternack G.B., Varecamp J.C. Volcanic lake systematics I. Physical constraints // Bull. of Volcanology. 1997. Vol. 58. № 7. P. 528-538.

ПРИРОДНЫЕ РЕСУРСЫ КАМЧАТСКОГО КРАЯ И ИХ РОЛЬ В СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОМ РАЗВИТИИ РЕГИОНА

Гаращенко Ю.А.

*Правительство Камчатского края, г. Петропавловск-Камчатский;
e-mail: priroda@kamchatka.gov.ru*

Исторический аспект изучения природных ресурсов Камчатки

Камчатка и ее шельф обладают значительным и разнообразным природоресурсным потенциалом, который составляет заметную и во многом уникальную часть национального богатства Российской Федерации.

История научных исследований Камчатки насчитывает более 250 лет. Начало им было положено участниками Второй Камчатской экспедиции Витуса Беринга: Степаном Петровичем Крашенинниковым (1994), Свеном Вакселем, Георгом Стеллером (Колчинский, 1997) и др. Благодаря этим трудам стало известно, что на Камчатке имеются богатейшие запасы пушнины, а также железные и медные руды, золото, самородная сера, глины, горячие источники.

Впоследствии на Камчатку был организован ряд исследовательских экспедиций, которые финансировались за счет казны или меценатами.

Гавриил Андреевич Сарычев использование природоресурсного потенциала Камчатки предлагал рассматривать с позиции торговли рыбой, мехом, моржовым зубом, китовым усом и жиром.

Василий Михайлович Головин (1965) высказал мнение о необходимости использования термальной воды в целях рекреации.

По итогам Первой Камчатской комплексной экспедиции Русского географического общества была получена значительная информация по географии, геологии, этнографии, антропологии, зоологии и ботанике Камчатки (Ивановский, 1910).

В 1921 году на р. Богачевка (побережье Кроноцкого залива) местные охотники нашли естественный выход нефти.

С 1928 года в приустьевой части р. Вывенка на берегу залива Корфа сотрудниками Дальгеолтреста было начато детальное изучение и разведка Корфского месторождения углей. Известно также, что американцы разведывали и использовали уголь Корфского месторождения уже в 1903 году.

В 1934 году сотрудник ЦНИГРИ Д.С. Гантман дал первое описание углей Крутогоровского месторождения.

В 1940 году Академией наук СССР совместно с сотрудниками ВНИГРИ (под общей редакцией академика Александра Николаевича Заварицкого) была составлена и издана геологическая карта полуострова в масштабе 1:2000000, явившаяся синтезом всех знаний о геологии Камчатки, имевшихся к тому времени.

Главным итогом исследований 50-х – 90-х гг. прошлого века стало фактическое создание минерально-сырьевой базы в регионе по золоту, серебру, меди, никелю, подземным водам, россыпной платине, углю, газу, различным строительным материалам. В общей сложности за данный период выявлены 2290 месторождений, проявлений, пунктов минерализации, ореолов рассеяния полезных ископаемых (Федореев, 1999).

Основные этапы природопользования на Камчатке

Социально-экономическое развитие Камчатки всегда базировалось на освоении природных ресурсов. За исторически фиксированный период с конца XVII века можно выделить не менее пяти основных этапов природопользования (табл. 1).

Таблица 1. Основные этапы природопользования на Камчатке

№	Этап	Направление природопользования
1	До конца XVII века	Первобытный собирательный способ освоения биологических природных ресурсов
2	Конец XVII – середина XVIII вв.	Пушной промысел. Один из основных стимулов приискания Россией новых земель в Сибири и в Америке
3	Середина XVIII века – конец XIX века	Освоение (в том числе и браконьерское) ресурсов морских млекопитающих
4	Конец XIX века – XX век	Рыбная промышленность со стационарным базированием промыслового и обрабатывающего потенциала. Использование лесных ресурсов
5	Настоящее время	Комплексное использование природных ресурсов Камчатки

1. До прихода русских первопроходцев (т.е. до конца XVII века) на территории полуострова существовал первобытный собирательный способ освоения биологических природных ресурсов. Физическое существование населения зависело от биопродуктивности экологических систем в ареалах его обитания.

2. С освоением Камчатки (конец XVII – середина XVIII вв.) основным природным ресурсом региона, вовлеченным в хозяйственный оборот была пушнина. Под жесткий антропогенный пресс попали ресурсы ценных пушных зверей (соболь, песец, лиса, горноста́й). Роль данного вида природных ресурсов трудно переоценить, так как погоня за пушниной стала одним из основных стимулов приискания Россией новых земель в Сибири и в Америке.

В XVII и XVIII вв. добыча основного ресурса пушного промысла – соболя, исчислялась в 50 тысяч штук в год. Кроме того, за период с 1746 и по 1785 гг. с Командорских островов было вывезено около 40 тыс. шкурок песца. Хищническое истребление привело к депрессии популяций указанных видов пушных зверей и с середины XVIII века количество заготавливаемой пушнины на Камчатке значительно снизилось.

3. Середина XVIII века – XIX век характеризуются интенсивным освоением (в том числе и браконьерским) ресурсов морских млекопитающих.

В обстановке завершения территориального раздела мира наиболее развитые страны (США, Япония, и др.) увеличили пресс на наиболее доступные биологические ресурсы мирового океана. Воды Охотско-Камчатского края на тот период были исключительно богаты различными видами морского зверя: моржом, нерпой, лахтаком, сивучем, белухой, касаткой, китом. В XIX веке в этих водах ходило до 300 американских, японских, английских и шведских судов, занимающихся китобойным промыслом. За 20 лет ими было добыто свыше 20 тысяч китов.

Добыча морского зверя в позднейшее время значительно сократилась.

Этот этап природопользования на Камчатке исчерпал себя вследствие почти полного истребления его природоресурсной базы.

4. С конца XIX века и в XX веке в качестве основной природно-ресурсной базы для товарного производства использовались водные биоресурсы (вначале стада тихоокеанских лососей, нерестящихся в пресных водоемах Камчатки, затем и другие виды водных биологических ресурсов).

Первые участки для товарного промысла лососей на Камчатке были отведены в 1896 году. С 1896 по 1923 год вылов рыбы на Камчатке вырос с 2 тысяч до 7.9 млн. пудов.

Потенциальная продуктивность лососей всех нерестово-выростных водоемов Камчатки оценивается в 1.0 млн. т, а промысловая – до 600 тыс. т.

Добыча водных биоресурсов на Камчатке достигала 1 млн. 400 тыс. тонн, но на протяжении последних лет стабилизировалась и ежегодно составляла порядка 580–630 тыс. тонн, 90% которых приходится на долю ценных объектов промысла – минтая, трески, палтуса, терпуга, камбалы, лосося, морепродуктов (рис. 1).

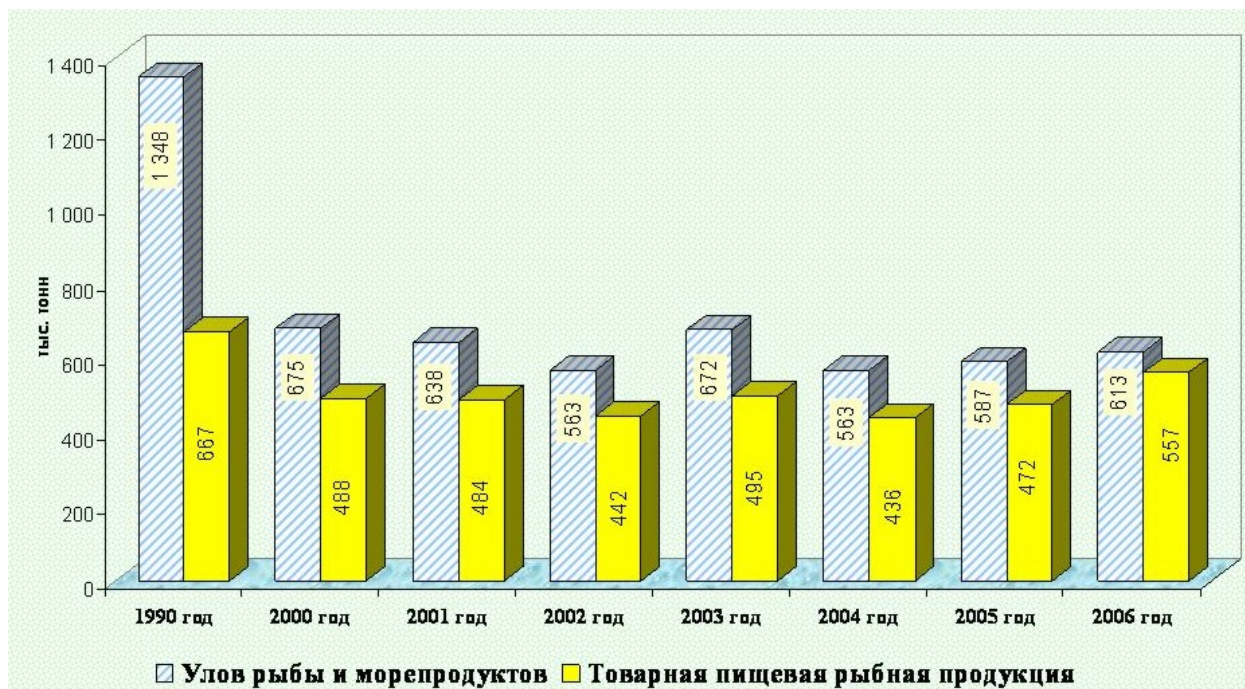


Рис. 1. Улов рыбы и производство товарной пищевой рыбной продукции по Камчатскому краю.

На этом этапе экономика Камчатской области носила ярко выраженный моноотраслевой характер. Базовой отраслью экономики являлся рыбохозяйственный комплекс, на долю которого приходилось до 60% производимой продукции и более 90% экспортного потенциала области.

В настоящее время возможности устойчивого развития Камчатки за счет увеличения уловов рыбы исчерпаны. Экстенсивное освоение природных рыбных ресурсов привело к пределу количественного роста и стало главным фактором их истощения.

Также в этот период времени на Камчатке активно использовались лесные ресурсы, сложился и достаточно успешно функционировал лесопромышленный комплекс, включавший в себя лесозаготовки, выпуск круглых лесоматериалов, лесопиление, поставки части продукции на экспорт.

В результате использования лесных ресурсов в указанный период самые доступные и высококачественные в товарном отношении лесные массивы из лиственницы каяндера и ели аянской в бассейне реки Камчатки были вырублены, а объем промышленных лесозаготовок стал резко сокращаться. Крупные специализированные лесопромышленные хозяйства с закрепленными за ними на долгосрочную перспективу лесосырьевыми базами перестали существовать.

В настоящее время, ежегодный объем заготовки и переработки древесины в Камчатском крае не превышает 220 тыс. м³, при расчетной лесосеке – 1830.4 тыс. м³.

К концу XX века указанный тип природопользования пришел в кризисное состояние.

Главными особенностями перечисленных периодов являлось то, что структура регионального хозяйства в каждый из них отличалась моноотраслевой специализацией в

межрегиональном обмене труда. Ориентация на один вид природного ресурса в качестве основного продукта для межрегионального обмена неизменно приводила к истощению этого ресурса. Смены типов природопользования сопровождались разрушением систем производства и расселения (Моисеев, 2007).

С учетом этих особенностей и во избежание разрушительных социально-экономических и экологических последствий на современном этапе осуществляется переход к новому типу освоения природных ресурсов, основанному на их комплексном использовании, включая, наряду с рыбными ресурсами, рекреационные, водные, минерально-сырьевые.

В этой связи, Правительством Камчатского края ведется разработка Стратегии социально-экономического развития Камчатского края до 2025 года, которая соответствует ключевым направлениям развития Дальневосточного Федерального округа, Концепции долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации.

Всесторонний анализ возможностей экономического роста Камчатского края показывает, что горнодобывающая промышленность является в данный момент единственной в крае инфраструктурообразующей отраслью. Только благодаря освоению месторождений полезных ископаемых возможно развивать в Камчатском крае рациональную энергетическую и транспортную инфраструктуру, создав предпосылки для успешного бездотационного развития Камчатского края.

Минерально-сырьевая база Камчатского края и ее роль в социально-экономическом развитии региона

Минерально-сырьевые ресурсы Камчатского края представлены различными полезными ископаемыми как федерального, межрегионального, так и местного значения, которые могут быть рентабельно освоены (табл. 2).

Углеводородный потенциал суши оценивается в 1.4 млрд. т в нефтяном эквиваленте, в том числе извлекаемых - около 150 млн. т нефти и около 800 млрд. м³ газа. Разведанные и предварительно оцененные запасы природного газа сосредоточены в одном среднем и трех мелких месторождениях Колпаковского нефтегазоносного района и в сумме составляют 22.6 млрд. м³. В стадии опытно-промышленной отработки находится Кшукское месторождение природного газа. Годовая добыча – 8-9 млн. м³ для нужд Соболевского района.

Разведанные и предварительно оцененные запасы угля Камчатского края составляют 275 млн. т, прогнозные ресурсы превышают 6 млрд. т. С различной детальностью изучено 7 месторождений и более десяти углепроявлений. Для местных нужд разрабатываются 3 мелких месторождения каменного и бурого угля и 2 подготавливаются к освоению. Объем добычи в 2008 году составил 47.5 тыс. т.

К настоящему времени в Камчатском крае выявлены и в различной степени изучены 10 месторождений и 22 перспективных участка и площади коренного золота с разведанными и предварительно оцененными запасами металла 150 т и прогнозными ресурсами 1171 т. В 2006 году началась промышленная добыча золота на Агинском месторождении. Объем добычи золота в 2008 г. составил 1330 кг. Запасы попутного серебра учтены в объеме 570 т, прогнозные ресурсы превышают 6.7 тыс. т. Запасы россыпного золота оценены в 54-х мелких месторождениях в объеме 3.9 т, прогнозные ресурсы – 23 т. Россыпное золото добывается в объеме 60-100 кг в год.

Таблица 2. Состояние минерально-сырьевой базы Камчатского края (по основным полезным ископаемым)

№ п/п	Вид полезного ископаемого	Количество месторождений, учитываемых ГБЗ	Распределенный фонд недр	Нераспределенный фонд недр	Количество месторождений, эксплуатируемых в 2008 г.	Добыто в 2007 г*	Добыто в 2008 г**	Кол-во недропользователей
1.	Платина россыпная	5	6	-	5	2078.0 кг	1374.0 кг	2
2.	Золото рудное	5+1 компл.	13 объектов	-	1+1 компл.	2338.1 кг	1330.9 кг	9
3.	Золото россыпное	54	11	43	4	109.8 кг	63. 0 кг	6
4.	Серебро	5 с Au	13 объектов	-	1	930.0 кг	601.0 кг	9
5.	Никель	1	2 объекта	-	1	2175.4 т	6755.7 т	1
6.	Медь	1	2 объекта***	-	1	299.3 т	1085.1 т	1
7.	Кобальт	1	2 объекта	-	1	51.8 т	147.1 т	1
8.	Железо, титан, ванадий	1	1	-	-	-	-	1
9.	Ртуть	3	-	3	-	-	-	-
10.	Сера	1	-	1	-	-	-	-
11.	Уголь каменный	4	2	2	2	8.3 тыс. т.	14.9 тыс. т	1
12.	Уголь бурый	3	3	-	2	11.2 тыс. т	32.6 тыс. т	3
13.	Газ. газовый конденсат	4	3	1	1	9.042 млн. м ³	9.408 млн.м ³	1
14.	Теплоэнерг. Воды. в т.ч.	15	13 объектов	3	10			10
15.	Вода термальная	15	13	3	10	12921.4 тыс. м ³	11465.6 тыс. м ³	10
	Пар	1	1		1	680.3 тыс. т	630.8 тыс. т	1
	Пароводяная смесь	1	1		1	13638.0 тыс. м ³	14451.1 тыс. м ³	1
16.	Минеральные воды	3	2	1	2	32.134 тыс. м ³	8.8 тыс. м ³	2
17.	Пресные воды	21 м-е (32 уч)	20 м-й (30 уч)	2 участка	25 участков	52191.4 тыс. м ³	52191.4 тыс. м ³	23
18.	Пемза	1	-	1	-	-	-	-
19.	Перлит	2	1	1	-	5.4 тыс. м ³	-	1
20.	Цеоциты	1	-	1	-	-	-	-

* В соответствии с территориальным балансом запасов полезных ископаемых Камчатского края № 122 от 30.05.2008 г.

** В соответствии с отчетами недропользователей за 2008 г.

*** Без учета комплексных объектов

Остаточные запасы россыпной платины составляют 900 кг, ресурсы – 33 т. Кроме того, изучается рудопроявление коренной платины с прогнозными ресурсами более 30 т. С 1994 года по настоящее время добыто около 50 т россыпной платины. В 2008 году объем добычи составил 1374 кг.

Прогнозные ресурсы по никелю и кобальту кобальт-медно-никелевых месторождений только Срединного кристаллического массива Камчатки определяются соответственно в 3.5 млн. тонн и 44 тыс. тонн. Отдельные месторождения, например Шануч, характеризуется очень высокими средними содержаниями в рудах никеля - до 7%, что допускает их переработку без предварительного обогащения. На Шанучском медно-никелевом месторождении в 2008 году добыто: никеля 6755.7 т, меди 1085.1 т, кобальта 147 т.

Камчатский край обеспечен всеми видами строительных материалов: песчано-гравийными смесями, строительным песком, вулканическими туфами, строительным камнем, различными наполнителями бетонов, шлаками, пемзами, кирпичными глинами, перлитами, цеолитами. Уникальным является крупнейшее на Дальнем Востоке Ильинское месторождение пемз, его запасы по категориям А+В+С - 144 млн. м³, являются многопрофильным сырьем местного и экспортного значения. Для производства строительных материалов на территории Камчатского края разведано более 50 месторождений.

Широко распространенным полезным ископаемым в Камчатском крае являются подземные воды, которые по химическому составу и температуре подразделяются на: холодные пресные, термальные и минеральные. Они используются в хозяйственно-питьевом водоснабжении, а также в бальнеологических и теплоэнергетических целях. Ежегодная добыча термальных вод составляет около 13 млн. м³. Пар Паужетского, Мутновского и Верхне-Мутновского месторождений используется для производства электроэнергии. Суммарная мощность действующих на них ГеоТЭС составляет 70 МВт. Новым направлением в использовании холодных пресных вод Камчатки, отличающихся высоким качеством, является их бутилирование и вывоз в регионы с дефицитом источников питьевого водоснабжения.

Горнопромышленный комплекс Камчатского края в настоящее время находится на этапе формирования. В объеме отгруженной продукции по всем видам деятельности региона на добывающий сектор экономики приходится порядка 5%.

Ближайшие перспективы развития горнорудной промышленности состоят, прежде всего, в том, что до 2015 года в Камчатском крае должны быть построены и приступят к добыче полезных ископаемых 6 рудников: Асачинский (2010г.), Бараньевский (2011 г.), Аметистовый (2012 г.), Родниковый (2013 г.), Кумроч (2013 г.), Озерновский (2015 г.). Добыча золота составит 16 т/год, платины – 3 т/год. К 2018 году производство рудного золота достигнет 18 т, платины – 3 т (рис. 2).

Шанучский никелевый рудник, работающий в режиме опытно-промышленной эксплуатации должен перейти в режим промышленной разработки. К 2017 году на Квинумской площади будут подготовлены балансовые запасы никеля и построен второй в Камчатском крае никелевый рудник. Суммарная добыча никеля на двух предприятиях достигнет 10 тыс. т в год.

Выделяется четыре перспективных на углеводородное сырье площади в пределах шельфовых зон, прилегающих к побережью Камчатского края. Инвестиции в разведку и обустройство месторождений Западно-Камчатской зоны, а также создание береговой инфраструктуры оцениваются в 775 млрд. р. Другие перспективные площади могут быть вовлечены после получения первых положительных результатов на Западно-Камчатской площади. Всего в период 2008-2025 гг. в Камчатском крае при сохранении сегодняшнего уровня цен на минеральное сырье может быть произведено 252.4 т золота, 54 т платины, 114,6 тыс. т никеля, 17 млрд. м³ газа, 6.6 млн. т нефти на суше и 326.5 млн. т углеводородов в нефтяном эквиваленте на шельфе.

Одна из задач управления минерально-сырьевым комплексом - это создание многоотраслевой системы природопользования, оперативно реагирующей на изменение рыночных условий функционирования. Учитывая тенденцию развития мирового рынка природного сырья необходимо развивать добычу и использование:

- драгоценных металлов,
- углеводородного сырья,
- цветных металлов,
- бальнеологических ресурсов.

Эти четыре направления позволят занять прочные позиции в экономике. Для удовлетворения региональных потребностей и спроса дальневосточных субъектов Российской Федерации, кроме отмеченных отраслей, перспективно полномасштабное освоение ресурсов подземных питьевых вод, строительных материалов, каменного угля.

Для обеспечения устойчивого развития минерально-сырьевого комплекса необходимо наращивание минерально-сырьевой базы не только за счет предприятий, но и в процессе частно-государственного партнерства. При этом особое внимание уделить прогнозу и поискам крупных и уникальных по запасам месторождений. Такими объектами прежде всего могут быть крупнообъемные месторождения драгоценных металлов – золота, платины в пределах северной и центральной части Камчатки (типа Озерновского, Гальмознанского и др). В этот же ряд следует включить оценку на углеводородное сырьё Западно-Камчатской, Шелиховской, Хатырской, Олюторской площадей шельфа.

Любое вторжение в природу связано с причинением ей определенного ущерба. Камчатка относится к числу наиболее ранимых территорий. Поэтому охрана окружающей среды является важным звеном экологической политики Правительства Камчатского края. Использование самых современных и безопасных с экологической точки зрения технологий разработки полезных ископаемых сегодня составляет главную задачу законодательных и исполнительных органов власти региона.

Столь масштабное развитие минерально-сырьевого комплекса не может не повлечь за собой масштабных социальных преобразований. Кадровый дефицит геологов, горняков, технических специалистов разного уровня квалификации обуславливает необходимость подготовки специалистов с высшим и специальным образованием в количестве – 2500 человек.

Создаваемая объектами отрасли транспортная и энергетическая инфраструктура будет способствовать развитию туризма, объектов социально-культурного назначения, позволит улучшить жизнеобеспечение и занятость населения Камчатского края, особенно северной его части, развитие которой не предусмотрено стратегиями других отраслей.

Использование, в дополнение к традиционным отраслям (рыбной, лесоперерабатывающей), минерально-сырьевой базы Камчатского края в ближайшей перспективе поможет значительным образом изменить общую структуру промышленности за счет создания новых отраслей – предприятий цветной металлургии, газо- и нефтедобывающей промышленности, строительных материалов. Решение задачи удвоит ВРП и увеличит бюджетную обеспеченность.

Более того, комплексное использование природных ресурсов позволит сохранить, а в отдельных случаях и восстановить биологические ресурсы Камчатки.

Список литературы

Головнин В.М. Путешествие вокруг света, совершенное на военном шлюпе «Камчатка» в 1817, 1818 и 1819 годах флота капитаном Головниным // Головнин В.М. М.: Мысль, 1965. 383 с.

Колчинский Э.И. Стеллера в России: Библиография трудов немецкого биолога Г.В. Стеллера и литература о нём, опубликованная в России // Рос. акад. наук, Ин-т

истории естествознания и техники им. С.И. Вавилова, СПб. фил. СПб.: СПбФ ИИЕТ, 1997. 49 с.

Крашенинников С.П. Описание земли Камчатки. В двух томах. Репринтное издание. СПб: Наука, П-Камчатский: Камшат, 1994. С. 180, 187-188.

Ивановский А.А. Памяти организатора научной экспедиции на Камчатку Ф. П. Рябушинского. Москва, 1910. С. 8.

Моисеев Р.С. Тенденции развития природопользования на Камчатке // Избранное в трех томах. Т. 3. Концепции как инструмент управления социально-экономическим развитием Камчатки // Петропавловск-Камчатский: Изд-во КамГУ имени Витуса Беринга, 2007. С. 60-75.

Орлов В.П. Ресурсы недр в развитии севера (на примере Камчатского края) // Минеральные ресурсы России. 2007. № 3. С. 39-48.

Федорев В.Н. Геологические исследования и открытия на Камчатке // Геологическими маршрутами Камчатки. Т. 1. СПб: КФ ВСЕГЕИ, 1999. С. 7-16.

ИССЛЕДОВАНИЯ МИГРАЦИЙ ПТИЦ КАМЧАТКИ

Герасимов Ю.Н., Герасимов Н.Н.

*Камчатский филиал Тихоокеанского института географии ДВО РАН,
Петропавловск-Камчатский; e-mail: bird@mail.kamchatka.ru*

Географическое положение полуострова и целый комплекс природно-климатических факторов предопределили Камчатке весьма заметное место на Восточноазиатско-Австралазийском пути пролета. Это же сделало полуостров удобным местом для изучения миграций птиц. Такие исследования авторы осуществляют в течение более 40 лет. Основными направлениями работы являются:

- наблюдения видимых миграций;
- кольцевание и индивидуальное мечение;
- радио и спутниковое слежение.

Очень значительный объем информации был получен в результате многолетних наблюдений за весенней миграцией водных и околоводных птиц. Эти исследования выполняются на Камчатке в течение более 30 лет. С 1975 по 1990 гг. к работам широко привлекались специалисты охотничьего хозяйства. В дальнейшем учеты выполнялись главным образом лишь профессиональными орнитологами, либо непосредственно под их руководством. В основу методики учета с 1975 г. был положен ежедневный подсчет птиц, пролетающих в северном направлении. Учетчикам предлагалось в дни со слабым пролетом проводить наблюдения в течение несколько утренних и вечерних часов, а в периоды интенсивной миграции – по возможности все светлое время суток. Ширина полосы наблюдения не ограничивалась, рекомендовалось лишь указывать ее ежедневно в учетных ведомостях. В дальнейшем этот метод учета почти не изменялся, лишь было рекомендовано вести наблюдения ежедневно в течение не менее 9 часов. Для получения суммарного числа пролетевших птиц, учтенное количество особей экстраполируется на все светлое время суток для каждого вида и дня отдельно (Герасимов, 1977; Герасимов, Герасимов, 1997; Gerasimov, Gerasimov, 1995, 1998). Последние годы с целью получения более достоверных сведений, а также изучения суточной активности миграции мы ведем учет ежедневно в течение максимально возможного промежутка времени – до 17 часов в день.

Всего за период с 1975 по 2008 гг. проведено 85 учетов в 42 точках Камчатки (рис. 1). Продолжительность каждого учета составила 15–40 дней, а в сумме – свыше 2,5 тыс. дней, или 14 тыс. часов. Столь обширные исследования позволили:

- определить основные миграционные пути птиц на территории полуострова и у его побережий (Gerasimov, Gerasimov, 1995; Герасимов, Герасимов, 1997; Gerasimov, Huettmann, 2006);
- определить наиболее важные места концентрации птиц и взять значительную их часть под охрану (Герасимов, 2000; Герасимов, Герасимов, 1999, 2006, 2007; Gerasimov, Gerasimov, 1997, 1998, 1999, 2000);
- отработать и проверить достаточно простую методику учета, позволяющую получать достоверные результаты (Герасимов, Герасимов, 1997, 1998, 2004);
- определить ориентировочную весеннюю численность основных видов (Герасимов, Герасимов, 2003; Gerasimov, 2006; Gerasimov, Gerasimov, 1995).

Лучше всего к настоящему времени изучена весенняя миграция гусеобразных птиц. Важным результатом работ в этом направлении явилась оценка минимальной численности популяций утиных птиц, мигрирующих весной через Камчатку, включая прибрежную морскую зону (табл. 1).

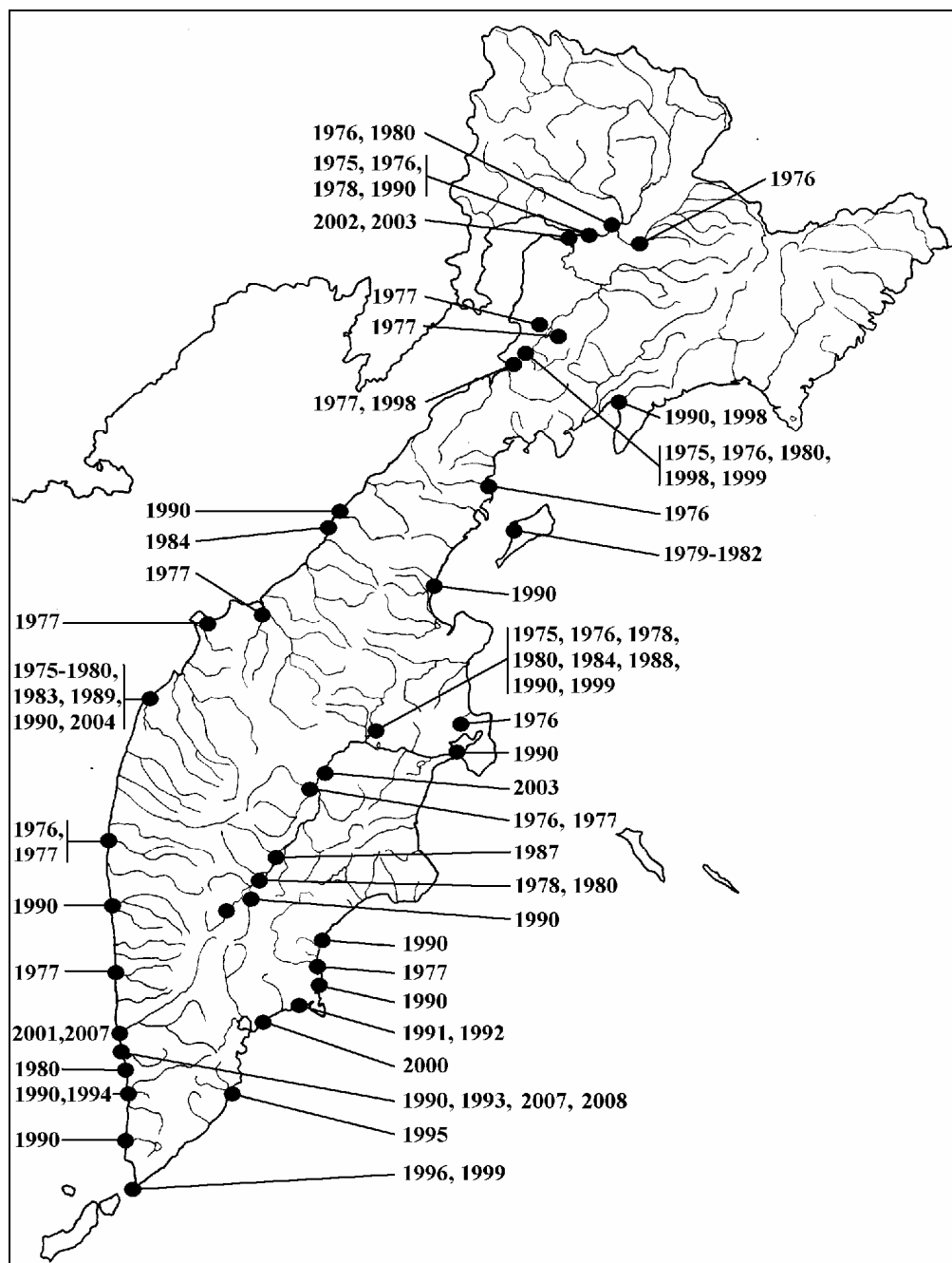


Рис. 1. Места и года стационарных наблюдений за весенней миграцией водных и околоводных птиц Камчатки.

Наблюдения весенней миграции чаек начаты на Камчатке в 1989 г. На юго-западном побережье полуострова направления весенних перемещений у этой группы птиц оказались наиболее разнообразными среди всех групп водных и околоводных птиц. Значительное число чаек мигрирует здесь не только в северном, но и в южном направлении, а также напрямую летит в центральные районы полуострова и на восточное побережье (рис. 2).

С 1990 г. на Камчатке ведутся учеты куликов (Gerasimov, 2006). Миграция этой группы проходит часто в очень короткие сроки и до 90 % от общего количества птиц может пролететь в течение нескольких часов одного дня (Герасимов, Калягина, 1996). Поэтому мы отказались от какой-либо экстраполяции учтенных куликов и всегда указывали лишь то количество, которое нам удалось наблюдать. Максимальное число учтенных за весну куликов в одной точке западного побережья достигает 100 тысяч особей.

Таблица 1. Оценка общего количества утиных птиц, мигрирующих весной через территорию Камчатки.

Вид	Оценка численности (особей)
Тихоокеанская черная казарка	500–1000
Белолобый гусь	40000–50000
Гуменник	40000–50000
Пискулька	1000–3000
Лебедь-кликун	8000–10000
Кряква	20000–30000
Чирок-свистун	150000–200000
Касатка	5000–10000
Вид	Оценка численности (особей)
Шилохвость	180000–200000
Связь	180000–200000
Широконоска	5000–10000
Обыкновенный гоголь	15000–20000
Морская и хохлатая чернети	150000–200000
Красноголовый нырок	500–1000
Каменушка	30000–35000
Морянка	400000–500000
Горбоносый турпан	300000–400000
Американская синьга	300000–400000
Обыкновенная гага	20000–40000
Сибирская гага	10000–15000
Гага-гребенушка	20000–40000
Луток	1500–2000
Средний крохаль	30000–40000
Большой крохаль	3000–6000
Всего	1908500–2436000

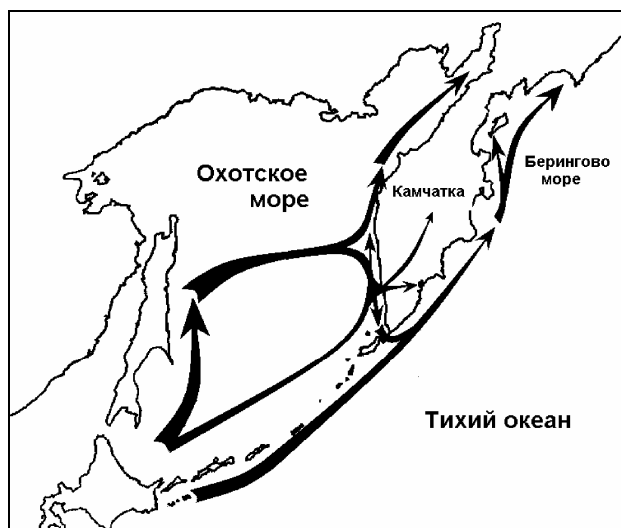


Рис. 2. Основные направления весенней миграции чайковых птиц Камчатки.

Мы предполагаем, что за один сезон мы могли учесть лишь 25–30 % пролетающих на западном побережье птиц этой группы. Кроме того, пока невозможно достоверно оценить количество тех видов куликов, которые в период миграции не привязаны к береговой полосе, а также тех видов, пролет которых идет почти исключительно в темное время суток.

В отличие от других групп птиц, для куликов были дополнительно выполнены учеты в период летне-осенней миграции (Gerasimov, 2003, 2004, 2005; Gerasimov et al., 2008; Shuckard et al., 2006). Это позволило нам дать минимальную оценку численности некото-

рых видов куликов, прилетающих на Камчатку и мигрирующих через ее территорию (табл. 2).

Таблица 2. Оценка численность некоторых видов куликов, мигрирующих через Западную Камчатку весной и осенью.

Вид	Оценка численности (особей)	
	весна	осень
Азиатская бурокрылая ржанка	1000	2000
Тулес	1000	2000
Монгольский зуек	2000	4000
Кулик-сорока	500	1000
Круглоносый плавунчик	10000	20000
Плосконосый плавунчик	500	—
Камнешарка	1000	2000
Чернозобик	200000	350000
Песочник-красношейка	100000	200000
Исландский песочник	3000	4000
Большой песочник	40000	80000
Большой веретенник	1000	10000
Малый веретенник	10000	50000
Дальневосточный кроншнеп	1000	1000
Средний кроншнеп	10000	80000

В сумме за один многодневный весенний учет в одной точке нам удавалось отметить до 570 тыс. утиных птиц, 110 тыс. морских колониальных птиц, 100 тыс. чаек, 100 тыс. куликов и десятки тысячи особей других птиц (Герасимов, 1997, 2002, 2003; Герасимов, Калягина, 1999). На основе данных весенних учетов мы оценили весеннюю численность водных и водно-болотных птиц, пролетающих у западного побережья Камчатки, в 1.9 млн. особей (табл. 3). В расчетах не учтены морские колониальные птицы за исключением чайковых.

Таблица 3. Минимальная оценка численности водных и водно-болотных птиц, мигрирующих весной через западное побережье Камчатки и вдоль него.

Группы птиц	Максимальный учет	Оценка общей численности
Гагары	22700	60000
Поганки	5200	20000
Лебеди	240	3000
Гуси	4400	65000
Речные утки	130000	370000
Нырковые утки	590000	730000
Поморники	1500	7000
Чайки	73700	220000
Крачки	27800	45000
Кулики	100900	380000
Всего	956440	1900000

В процессе изучения миграций нами определены удобные пункты наблюдений и группы птиц, которые можно использовать для экологического мониторинга прибрежной зоны Охотского моря.

Другим важным направлением изучения миграции птиц является кольцевание и мечение. Всего в 1960-х – 2000-х гг. на Камчатке окольцовано более 33 тыс. птиц, включая 19 тыс. воробьиных, 11 тыс. чаек, 1.5 тыс. гусей, 800 куликов и др.

Особо значимые результаты получены при использовании индивидуального мечения, в процессе которого для 1300 гуменников и 500 озерных чаек были надеты пластиковые шейные, либо ножные кольца с буквенно-цифровым кодом. Более десятка помеченных озерных чаек наблюдалось на территории Японии. Еще более интересные сведения получены от индивидуального мечения гуменников. Первые 2 года работы проводились на оз. Маэнта в Тигильском районе. Из 108 помеченных гуменников тундрового подвида возвраты были получены только от 6 особей, эти птицы наблюдались в Японии. Значительно более успешным было кольцевание и мечение гуменников в южной половине полуострова, когда от 57.3 до 98.5 % меченых гусей ежегодно наблюдалось в Японии (табл. 4).

В результате этих работ было выяснено, что гуменники тундрового подвида, гнездящиеся на северо-западном побережье Камчатки, зимуют в Китае, а птицы этого же подвида с южной половины полуострова, как и все камчатские гуменники таежного подвида, проводят зиму в Японии.

Таблица 4. Результаты мечения гуменников на Камчатке

Год	Количество помеченных гуменников			Наблюдалось в Японии	
	Тундровый подвид	Таежный подвид	Всего	Особей	%
1984	34	–	34	1	2,9
1985	74	–	74	5	6,7
1986	–	16	16	14	87,5
1987	–	126	126	112	88,9
1988	38	–	38	37	97,4
1989	80	64	144	126	87,5
1990	3	200	203	187	92,1
1991	1	134	135	133	98,5
1992	69	10	79	63	79,7
1993	119	29	148	97	76,6
1994	39	40	79	47	57,3
1995	–	52	52	40	76,9
1999	2	35	37	34	91,1
2000	33	25	58	48	82,8
Всего	492	731	1223	948	77,5

В 2004 и 2007 гг. в двух точках западного побережья Камчатки нами были помечено 650 куликов 16 видов (Gerasimov et al., 2008; Shuckard et al., 2006). В качестве меток каждой птице прикреплялось 2 пластиковых флажка черного и желтого цвета. Данная комбинация закреплена за Камчаткой на Восточноазиатско-Австралийском пути пролета. Возвраты были получены от 15 куликов. В Японии наблюдалось 7 помеченных нами песочников-красношеек и 1 чернозобик, в Австралии были встречены 4 песочника-красношейки, в Южной Корее – 1 большой песочник. Чернозобик и исландский песочник с нашими метками наблюдались в устье р. Янцзы в Китае.

Кроме перечисленных выше направлений изучения миграций птиц Камчатки интересные результаты получены при использовании радио и спутниковых передатчиков, прикрепленных на гуменников, белолобых гусей, белоплечих орланов, орланов-белохвостов и дальневосточных кроншнепов. С целью изучения миграционных связей за 40 лет собрана информация о многих сотнях колец с птиц, помеченных в Японии, США, Канаде, Китае, Тайване, Австралии и Новой Зеландии и добытых, либо пойманных на Камчатке.

В течении более чем 15 лет исследования по мигрирующим птицам Камчатки имеют широкую международную поддержку. В них принимают участие различные

государственные агентства, природоохранные фонды, орнитологические общества и орнитологи Японии, США, Германии, Австралии и других стран. По результатам исследований нами опубликовано более 120 статей и тезисов в России, США, Японии, Франции, Дании, Великобритании, Австралии, Индии и Шри-Ланке.

Список литературы

Герасимов Н.Н. Учет гусеобразных птиц на весеннем пролете в Камчатской области // Фауна и биология гусеобразных птиц. Четвертое Всесоюзное совещание 20–23 ноября 1977 г. М.: Изд-во Наука, 1977. С. 29–32.

Герасимов Н.Н., Герасимов Ю.Н. Всекамчатский учет как метод мониторинга популяций утиных птиц // Краеведческие записки. Петропавловск-Камчатский: Изд-во Камчатский печатный двор, 1997. Вып. 10. С. 250–264.

Герасимов Н.Н., Герасимов Ю.Н. К методике учета мигрирующих околоводных птиц Камчатки // Казарка, 1998. № 4. С. 56–62.

Герасимов Н.Н., Герасимов Ю.Н. Эстуарий реки Морошечной как место концентрации куликов // Биология и охрана птиц Камчатки. М.: Изд-во Диалог МГУ, 1999. Вып. 1. С. 47–52.

Герасимов Н.Н., Герасимов Ю.Н. Заказники Камчатки как система охраны водных и вводно-болотных птиц // Сохранение биоразнообразия Камчатки и прилегающих морей: Материалы VII междунар. научн. конф., посвященной 25-летию организации Камчатского отдела института биологии моря. Петропавловск-Камчатский: Изд-во Камчатпресс, 2006. С. 180–183.

Герасимов Н.Н., Герасимов Ю.Н. Роль орнитологических заказников в сохранении биоразнообразия Камчатки // Сохранение биоразнообразия Камчатки и прилегающих морей. Доклады VII международной научной конференции 28–29 ноября 2006 г. Петропавловск-Камчатский: Изд-во Камчатпресс, 2007. С. 59–71.

Герасимов Ю.Н. Наблюдения за весенней миграцией птиц на оз. Харчинском (Центральная Камчатка) // Биология и охрана птиц Камчатки. М.: Изд-во Центра охраны дикой природы, 2000. Вып. 2. С. 74–85.

Герасимов Ю.Н. Наблюдения за весенней миграцией утиных птиц вдоль юго-западного побережья Камчатки // Биология и охрана птиц Камчатки. М.: Изд-во Центра охраны дикой природы, 2002. Вып. 4. С. 64–74.

Герасимов Ю.Н. Материалы по весенней миграции некоторых видов птиц вдоль юго-западного побережья Камчатки // Биология и охрана птиц Камчатки М.: Изд-во Центра охраны дикой природы, 2003. Вып. 5. С. 55–56.

Герасимов Ю.Н., Герасимов Н.Н. Весенняя миграция водных и околоводных птиц вдоль побережья Западной Камчатки в зависимости от расстояния до берега // Биология и охрана птиц Камчатки. М.: Изд-во Центра охраны дикой природы, 2004. Вып. 6. С. 42–44.

Герасимов Ю.Н., Калягина Е.Е. Наблюдения за миграцией куликов на юго-западе Камчатки // Русский орнитологический журнал. 1996. Т. 4. Вып. 3/4. С. 144–145.

Герасимов Ю.Н., Калягина Е.Е. Весенняя миграция утиных птиц в районе устья р. Опала (Юго-Западная Камчатка) // Биология и охрана птиц Камчатки, М.: Изд-во Диалог МГУ, 1999. Вып. 1. С. 63–67.

Gerasimov N.N., Gerasimov Yu.N. Investigation of Waterfowl Migration in Kamchatka // Geese study. Wakayanagi, Japan, 1995. Is. 9. P. 1–7.

Gerasimov N.N., Gerasimov Yu.N. Shorebirds Use of Moroshechnaya Estuary // Shorebirds Conservation in the Asia-Pacific Region. Australia, 1998. P. 138–140.

Gerasimov N.N., Gerasimov Yu.N. The international significance of wetland habitats in lower Moroshechnaya river (West Kamchatka, Russia) for waders // International Wader Studies, 1998. Is. 10. P. 237–242.

Gerasimov Yu.N. Shorebird studies in North Kamchatka from July 5 – August 12 2002 // The Stilt, 2003. Is. 44. P. 19–28.

Gerasimov Yu.N. Southward migration in 2003 of shorebirds at the Penzhina River mouth, Kamchatka, Russia // The Stilt, 2004. Is. 45. P. 33–38.

Gerasimov Yu.N. The Penzhina River estuary, Kamchatka, Russia – a very important shorebird site during southward migration // Status and conservation of Shorebirds in East Asian – Australasian Flyway. Sydney, Australia, 2005. P. 153–159.

Gerasimov Yu.N. Shorebird migration studies in Kamchatka // Waterbirds around the world. A global overview of the conservation, management and research of the world's waterbirds flyways. Edinburgh, UK, 2006. P. 316–318.

Gerasimov Yu.N., Gerasimov N.N. A Register of important waterfowl wetlands in Kamchatka // Биология и охрана птиц Камчатки. М.: Изд-во Диалог МГУ, 1999. Вып. 1. С. 37–46.

Gerasimov Yu.N., Gerasimov N.N. The Importance of the Moroshechnaya River Estuary as a Staging Site for Shorebirds // The Stilt, 2000. Is. 36. P. 20–25.

Gerasimov Yu., Gridneva V., Melnikov V. et al. International shorebird expedition to Kamchatka // Tattler, January 2008. Is. 8. P. 9.

Gerasimov Yu. N., Huettmann F. Shorebirds of the Sea of Okhotsk: Status and Overview // The Stilt, 2006. Is. 50. P. 15–22.

Schuckard R., Huettmann F., Gosbell K. et al. Shorebird and Gull Census at Moroshechnaya Estuary, Kamchatka, Far East Russia, During August 2004 // The Stilt, 2006. Is. 50. P. 34–46.

**ВСЕРОССИЙСКАЯ НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
«100-ЛЕТИЕ КАМЧАТСКОЙ ЭКСПЕДИЦИИ
РУССКОГО ГЕОГРАФИЧЕСКОГО ОБЩЕСТВА».
ПЕТРОПАВЛОВСК-КАМЧАТСКИЙ, 22 – 27 СЕНТЯБРЯ 2008 г.**

Всероссийская научная конференция «100-летие Камчатской экспедиции Русского географического общества» прошла в г. Петропавловск-Камчатский 22 – 27 сентября 2008 года. Ее проведение было поддержано Президиумом Российской академии наук, Отделением наук о Земле РАН, Президиумом ДВО РАН, Российским фондом фундаментальных исследований, Правительством Камчатского края, Банком ВТБ, Горнопромышленной ассоциацией Камчатки.

На конференции была дана оценка результатам работ экспедиции, которая была проведена в 1908-1910 гг. по инициативе и на средства мецената Федора Павловича Рябушинского (1885—1910). Экспедиция должна была всесторонне изучить Камчатский

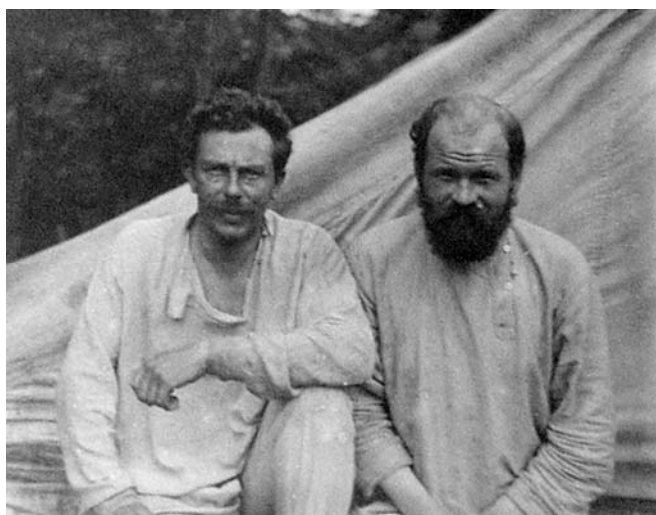


полуостров, дать комплексное представление о Камчатке, для которой в то время не было даже точной географической карты. Возглавлял экспедицию известный ученый ботаник Владимир Леонтьевич Комаров, который позже писал: *«Цель экспедиции была исключительно научная – возможно полное и всестороннее описание Камчатки; никакими другими целями экспедиция не задавалась»*. В составе экспедиции было шесть отделов, которые работали самостоятельно и практически не зависели друг от друга: геологический, ботанический, зоологический, гидрологический, метеорологический и этнографический.

Ф.П. Рябушинский. Портрет художника А.В. Калинина

В экспедиции участвовали известные ученые того времени: В.Л. Комаров, С.А. Конради, В.М. Козловский, Н.Г. Келль, Е.В. Круг, П.Ю. Шмидт, В.Л. Бианки и другие. Результаты работ были в последующие годы обработаны и опубликованы в многочисленных отчетах, монографиях и научных статьях и послужили фундаментом развития соответствующих направлений науки на Камчатке. Несмотря на многие неудачи, преследовавшие экспедицию, в ходе ее была собрана богатейшая коллекция минералов, растений и т.п., привезенных в Москву.

Русское географическое общество, организовав эту экспедицию, осуществило мечту многих известных ученых начала XX-го века восполнить пробел в знаниях о далекой и загадочной окраине России, заложило основу для развития науки на Камчатке. Материалы по истории и результатам экспедиции, бережно хранящиеся в Архиве Русского географического общества (Санкт-Петербург) и Архиве Российской академии наук, являются неоценимым научным достоянием человечества.



Участники экспедиции С.А. Конради
и Н.Г. Келль

По окончании работы экспедиции Русское географическое общество планировало издать шесть томов научных трудов (по количеству отделов). Но этому помешал ряд объективных причин, хотя результаты работ в последующие годы послужили фундаментом для развития различных направлений естественных наук.

Организацию и проведение конференции, посвященной 100-летию Камчатской экспедиции Русского географического общества, связанных с ней мероприятий Президиум Российской академии наук поручил Институту вулканологии и сейсмологии ДВО РАН.



Открытие конференции 23 сентября 2008 г. Приветственное слово Председателя ДВО РАН академика В.И. Сергиенко

На открытии конференции с приветствиями выступили: Председатель Оргкомитета конференции Председатель ДВО РАН академик В.И. Сергиенко, Губернатор Камчатского края А.А. Кузьмицкий, Председатель Законодательного собрания Камчатского края Б.А. Невзоров, директор Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН академик Е.И. Гордеев.



В зале заседаний

На конференции были заслушаны пленарные доклады по основным направлениям работы экспедиции, рассмотрены современные достижения, а также вопросы развития академической науки в Дальневосточном регионе. Было отмечено, что результаты исследований ученых, работавших в экспедиции, во многом определили развитие наук о Земле на Дальнем Востоке и не потеряли актуальности до наших дней.

В работе конференции приняли участие 144 специалиста, включая 11 академиков и 9 член-корреспондентов Российской академии наук. Приехали представители различных научных учреждений из Москвы, Томска, Новосибирска, Южно-Сахалинска, Хабаровска, Владивостока, Благовещенска, Ростова-на-Дону. Камчатку представляли ученые из Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Камчатского филиала Геофизической службы РАН, Института космических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН, Научно-исследовательского геотехнологического центра ДВО РАН, Камчатского филиала Тихоокеанского института географии ДВО РАН, Камчатского государственного университета им. Витуса Беринга, Камчатского государственного технического университета, других организаций.

Было проведено две научные экскурсии: к подножию Корякского и Авачинского вулканов, в кальдере вулкана Горелый и на Мутновскую геотермальную электростанцию.

Ко дню открытия конференции был издан фотоальбом «Камчатка - царство вулканов», памятный значок, посвященный 100-летию Камчатской экспедиции Русского географического общества, специальный выпуск журнала «Вопросы географии Камчатки», также был переиздан «Атлас вулканов Камчатки», выпущенный в 1928 г. участником экспедиции Н.Г. Келлем.



Фото участников конференции на крыльце
Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН

Конференция была хорошо организована и выполнила свою задачу по обмену информацией и опытом между специалистами в различных областях исследований Камчатского края. Представленные доклады в основном соответствовали высокому научному уровню. Результаты ведущихся научных исследований внедрены в практику и

используются при получении комплексной оценки сейсмической, вулканической и цунами опасности. Участниками конференции была отмечена полезность и эффективность регулярного проведения подобных региональных конференций комплексной тематики.

По итогам проведения конференции Президиумом ДВО РАН было принято следующее постановление:

1. Учитывая актуальность проблем, рассмотренных на конференции, их значимость в плане социально-экономического развития Камчатского края и сохранения геополитического статуса восточной окраины России, обратиться с предложением к Правительству Камчатского края включить в Концепцию развития Камчатского края:

- разработку с участием научного потенциала учреждений ДВО РАН целевой программы подготовки специалистов для развивающихся отраслей экономики Камчатки, а также в области фундаментальных и прикладных исследований (и, в частности, по сейсмологии, цунамиопасности, вулканологии и др.);

- необходимость строгого соблюдения требований о сохранении окружающей среды при проведении политики комплексного рационального освоения природного ресурсного потенциала Камчатки.

2. Рекомендовать институтам Камчатского научного центра ДВО РАН при проведении научных исследований учитывать опыт работы экспедиции Ф.П. Рябушинского.

3. Поручить организаторам конференции направить отчет о проведенном мероприятии в Президиум РАН, а также подготовить материалы конференции для публикаций в «Вестнике РАН», «Вестнике ДВО РАН», «Известиях Русского географического общества».

4. Считать целесообразным продолжить практику проведения на Камчатке научных конференций по комплексным проблемам освоения и развития Камчатского края.

5. Выразить благодарность организаторам-спонсорам, выделившим финансовые средства для проведения конференции.

Зам. председателя Оргкомитета конференции
Директор Института вулканологии
и сейсмологии ДВО РАН
академик

Е.И. Гордеев

Ученый секретарь Института вулканологии
и сейсмологии ДВО РАН
кандидат геолого-минералогических наук

В.Л. Леонов

**ВОЗРОЖДЕНИЕ КОЛЛЕКЦИИ ФОТО И ФОТОТЕОДОЛИТНЫХ СНИМКОВ
ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ОТДЕЛА КАМЧАТСКОЙ ЭКСПЕДИЦИИ
Ф.П. РЯБУШИНСКОГО 1908-1910 гг.**

Двигало В.Н., Свирид И.Ю., Шевченко А.В.

*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский;
e-mail: dvig@kscnet.ru*

Экспедиция Ф.П. Рябушинского, снаряженная при содействии Русского Географического общества (РГО) век назад, проделала огромную работу даже с точки зрения нашего времени. По тем же временам, её вклад в исследование Камчатки был просто неоценим. Далеко не все материалы экспедиции были опубликованы тогда. И по сей день, когда актуальность отчётов сходит на нет, именно найденные неопубликованные материалы обнаруживают неутратившуюся и за сто лет научную ценность. Далеко не только историческую!

Здесь мы расскажем об одной из таких находок – «утерянной» коллекции фотопластин геологического отдела экспедиции.

Одной из задач, стоявших перед геологическим отделом экспедиции являлось изучение формы и размеров вулканов, механизма их деятельности, которые, по мнению участников экспедиции, были невозможны без топографического и морфологического изучения вулканических образований (Конради, Келль, 1925). Первоначально решение этой задачи предполагалось выполнять маршрутной мензольной съёмкой намеченных районов, но после первого же опыта восхождения на влк. Виллючик и последующей попытки съёмки Виллючинской бухты, стала очевидной неприемлемость данного метода в камчатских условиях.

Было решено применить триангуляционные построения теодолитом и, впервые на Камчатке, широко использовать для изучения морфологии вулканов методы фотографии и наземной фотограмметрии (фототеодолитной съёмки).

Поначалу, летом 1908 г., для этой цели использовались простые фотографические аппараты 9×12 см и 13×18 см. Зимой 1908-1909 гг. участниками экспедиции «сконструирован был из камеры Эрнемана, частей мензулы и кипрегеля особый фотограмметр, который мог получать определенную внутреннюю ориентировку» (Конради, Келль, 1925). «Летом 1910 г. присоединился еще фототеодолит Лосседа старой модели» (Келль, 1926), доставленный весной из Петербурга.

Благодаря такому оснащению сотрудники экспедиции за время ее работы на Камчатке получили великолепную коллекцию, состоявшую из более 2000 фотографических, фотограмметрических и стереофотограмметрических снимков (Келль, 1926).

Фото и фототеодолитные снимки широко использовались как иллюстративный материал при оформлении отчетов экспедиции (Келль, 1926). Н. Г. Келль дополнял теодолитные засечки и результаты мензольной съёмки фотограмметрическими данными при заполнении некоторых участков создаваемой им карты (Келль, 1926).

Осенью 1982 г. один из авторов этого сообщения (В.Н. Двигало), совершенно случайно, в подвале Института вулканологии ДВНЦ АН СССР (ИВ), обнаружил металлический короб, размером 50х50х30 см, целиком заполненный картонными коробками и торчащими из них стеклянными пластинками, по размерам соответствующим фототеодолитным – 13х18 см. И действительно, первая вытащенная пластинка имела координатные метки, причем координатные метки были чисто механическими, что свидетельствовало о древности применяемого для съёмки фототеодолита. Без особого труда удалось почти сразу установить, что эта уникальная

находка есть не что иное, как часть коллекции снимков экспедиции РГО 1908-1910 г.г. на Камчатку.

По просьбе В.Н. Двигало сотрудницей лаборатории голоценового вулканизма ИВ Е.Ф. Магуськиной был составлен каталог обнаруженных фотопластинок. Всего их оказалось 766 штук. Большая часть стеклянных фотонегативов были оригинальными, полученными (в двух форматах 13x18 и 9x12 см) во время экспедиции 1908 – 1910 гг. Но 146 из них представляли собой более поздние, очень некачественно (поэтому непонятно, – с какой целью) сделанные копии в виде негативов. Фотографическое качество оригинальных негативов было так же сильно неоднородным: от вполне пригодных для фотопечати, но, как правило, наименее интересных, до сильно потертых, битых, практически полностью испорченных временем и условиями хранения. Многие фотопластинки были упакованы в промышленным способом изготовленные конверты из восковки, и уложены в коробки с этикетками английской фирмы ILFORD, Limited (The Britannia Works Company, Limited) (рис. 1). Упакованные таким образом пластинки сохранились существенно лучше.

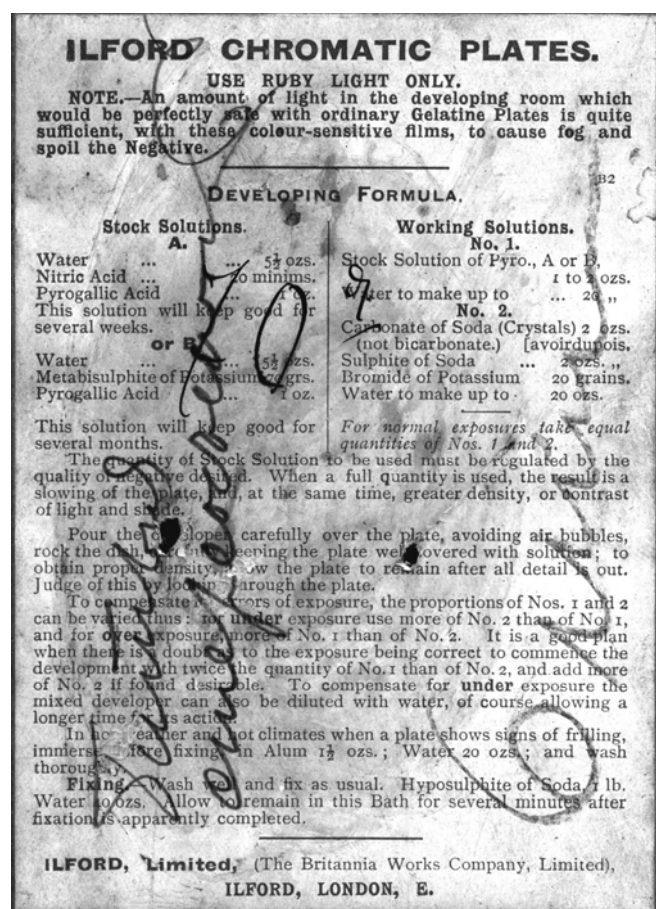


Рис. 1. Этикетка одной из коробок фотопластинок, на которые производились фото и фототеодолитные съемки сотрудниками Геологического отдела экспедиции РГО на Камчатку в 1908 – 1910 гг.

Судя по этикеткам, для фотосъемок применялось два вида фотопластинок: ILFORD CHROMATIC PLATES и ILFORD SPECIAL RAPID PLATES.

По штампам и отметкам сохранившимся на некоторых конвертах, в которые были упакованы снимки, можно предположить историю их перемещений. По-видимому, из архива экспедиции РГО на Камчатку фотопластинки были переданы в Лабораторию Научно-прикладной Фотографии и Кинематографии АН СССР, которая с этим наименованием действовала в Ленинграде в период с 1932 г. по 1934 г. Затем они оказались в архиве Лаборатории вулканологии АН СССР (1935-1962 гг.), откуда и были перемещены на Камчатку, возможно в связи с образованием Ключевской вулканологической станции (1935 г.) или с организацией на Камчатке Института вулканологии СО АН СССР (1962 г.).

Но, как бы там ни было, ясно одно – что к моменту вторичного появления этой коллекции снимков на свет она основательно похудела (если опираться на утверждение Н.Г. Келля о более чем 2000 снимков, находившихся в их распоряжении – примерно до 1/3). Оставшиеся снимки, среди которых встречаются просто уникальные, требовали серьезной реставрации. В 80-е годы прошлого столетия не существовало достаточно эффективных технологий, которые могли бы позволить привести снимки хотя бы к первоначальному виду, поэтому мы иногда при использовании снимков в исследовательском процессе производили ретуширование только бумажных отпечатков, получаемых с оригиналов.

В настоящее время Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН располагает необходимым оборудованием и программными средствами для высококачественной реставрации электронных копий снимков, к которой мы и приступили в связи с подготовкой к 100-летию юбилею Камчатской экспедиции Ф.П. Рябушинского.

К сожалению, размеры данного издания не позволяют опубликовать сразу все отреставрированные к этому моменту снимки, поэтому мы приведем те из них, которые, на наш взгляд, являются наиболее интересными.

На уникальнейших фотографиях, отреставрированных А.В. Шевченко, запечатлен выброс из кратера Авачинского вулкана во время его кратковременного извержения, происходившего в августе 1909 г. (рис. 2), и последствия этого извержения (рис. 3).



Рис. 2. Газопепловый выброс из кратера вулкана Авачинский во время его извержения в августе 1909 г. На переднем плане фрагмент поселения, располагавшегося, скорее всего, в долине реки Налычева.



Рис. 3. Вулканы Авачинский и Козельский в конце августа 1909 г. На склонах конуса вулкана Авачинский отчетливо видны два лавовых потока и отложения еще не остывшей пирокластики.

Красочное, но краткое и малоинформативное описание извержения вулкана Авача 1909 г., приведенное в работе В.К. Арсеньева (Арсеньев, 1925), позаимствованное им из рукописи П.Т. Новограбленова «Вулканы Камчатки» (1922 г.), и воспроизведенное вновь в работе (Мелекесцев и др., 1993) не раскрывало полностью последствий этого извержения. Возможно поэтому долгое время существовала неопределенность в вопросе о изверженных на склон конуса вулкана продуктах. Не было полной ясности, являются ли они лавовыми, или агломератовыми потоками (Мелекесцев и др., 1993). Фотоснимок на рис. 3 бесспорно показал, что два потока, излившиеся в августе 1909 г. являются лавами, а извержение 1909 г. по своим внешним эффектам, продолжительности и объемам изверженного материала – очень похоже на извержение вулкана Авача в январе 1991 г.

Рис. 4 прекрасно иллюстрирует состояние вулканов Безымянного, Камень и Ключевского к началу осени 1910 г. С тех пор морфология всех этих вулканов основательно изменилась. Вулкана Безымянного - в 1956 г., вследствие катастрофического извержения, сорвавшего его вершину, и многочисленных последующих экструзивно-эксплозивных и эффузивно-эксплозивных извержений. Вулкана Камень - за счет обрушений, продолжающихся в пределах обвального цирка его юго-восточной стенки. Вулкана Ключевского - в ходе частых и интенсивных вершинных и побочных его извержений. Несколько стереопар, полученных фототеодолитом Лосседа и обнаруженных в сохранившейся части коллекции, возможно, помогут воссоздать рельеф поверхности вулканов на то время и определить количественные характеристики изменений. Рис. 5 отражает очень высокую интенсивность извержения вулкана Ключевской в конце лета – осенью 1910 г.



Рис. 4. Вулканы Безымянный, Камень и Ключевской. Вид с востока. Начало осени 1910 г.



Рис. 5. Извержение вулкана Ключевской в конце лета – начале осени 1910 г.

Великолепные виды вулкана Шивелуч (рис. 6) и вулкана Ильинский (рис. 7) совместно с другими, сохранившимися снимками этих вулканов, дают полную картину о состоянии размерах и строении этих вулканов в начале прошлого столетия.



Рис. 6. Вулкан Шивелуч в начале осени 1910 г. Вид с юга.



Рис. 7. Вулкан Ильинский, вид с острова «Сердце Алаида», расположенного в центре озера Курильского, сентябрь 1908 г.

На снимке (рис. 8) сотрудники геологического отдела экспедиции во время их пребывания в пос. Ключи в 1910 г.

Несмотря на то, что реставрация снимков геологического отдела экспедиции РГО требует очень больших затрат времени, она будет продолжена, и мы надеемся на возможность дальнейших публикаций и других фотографий сохранившейся части коллекции. Подлинное значение её содержимого – оригинальных негативов на стекле, запечатлевших для нас отражения тех далёких моментов камчатской действительности вековой давности – неоценимо. Неоценимо вообще, и тем более для нас – только лишь её хранителей. Данная публикация – возможность поделиться этими уникальными материалами. И пусть каждый читатель найдёт в них то, что не сочли достойным для издания сами их авторы, не посчитали ценным ответственные лица, оставившие коллекцию бесхозной, что не можем увидеть в них мы сами.



Рис. 8. Участники экспедиции Ф.П. Рябушинского. Первый слева С.А. Конради, затем Н.Г. Келль, третий и четвертый пока не определены (возможно, что третий Ламберт, а четвертый – либо Е.В. Круг, либо В.А. Власов).

В заключение, выражаем нашу признательность и благодарность Г.П. Яроцкому – Председателю Камчатского отделения Русского географического общества за настойчивость и содействие, оказанные им при выполнении работ по реставрации снимков, подготовке доклада и публикаций, Е.Ф. Магуськиной, оказавшей помощь при составлении первого каталога вновь обнаруженной коллекции снимков. Особую благодарность приносим А.В. Сокоренко – сотруднику Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН – единственному, откликнувшемуся на наш призыв о возрождении и восстановлении коллекции снимков Геологического отдела экспедиции Ф.П. Рябушинского 1908-1910 гг. и пополнившего ее еще восемью интереснейшими негативами.

Список литературы

Арсеньев В.К. В кратере вулкана. Владивосток, 1925. 32 с.

Келль Н.Г. Карта вулканов Камчатки: Камчатская экспедиция Ф.П. Рябушинского 1908 – 1910 гг. // Геологический отдел. Изд. Тихоокеан. Ком. АН СССР и Гос. русск. геогр. об-ва. 1926. 76 с.

Конради С.А., Келль Н.Г. Геологический отдел Камчатской экспедиции 1908 – 1911 г. Известия Государственного Русского географического общества / Главнаука: Отв. ред. В.Л. Комаров – Л., М.,: Гос. Изд-во, 1925. Т. 57. Вып. 1. С. 3–32.

Мелекесцев И.В., Брайцева О.А., Двигало В.Н., Базанова Л.И. Исторические извержения Авачинского вулкана на Камчатке (попытка современной интерпретации и классификации для долгосрочного прогноза типа и параметров будущих извержений). Часть I (1737 – 1909 гг.) // Вулканология и сейсмология. 1993. № 6. С. 13 – 27.

ГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗОН СУБДУКЦИИ

Добрецов Н.Л.

Институт геологии и минералогии СО РАН, Новосибирск

Введение

Работа посвящена памяти моего деда по матери Н.Г. Келль, члена-корреспондента АН СССР, автора первой «Карты вулканов Камчатки» (Келль, 1928). В предисловии к этому труду Николай Георгиевич написал: «Всех нас, побывавших в экспедиции Рябушинского на Камчатке, далёкая вулканическая Камчатка с ее дикими просторами породнила, поэтому неудивительно, что спустя почти 20 лет мы находим деятельную поддержку участников экспедиции во всем том, что касается опубликования материалов экспедиции... При этом никак нельзя не помянуть добрым словом моего бывшего начальника в экспедиции... С.А. Конради, с которым мы душа в душу проработали 2.5 года на Камчатке, живя большую часть времени в одной палатке и деля все – радости и невзгоды. Если чего-нибудь нам и удавалось достигнуть, то это в значительной степени благодаря полному товарищескому сотрудничеству и постоянному, ничем не омраченному согласию».

В 1931-1932 гг. на вулканах Камчатки работала моя мать Ю.Н. Келль (Добрецова) после окончания Ленинградского Горного института в составе экспедиции А.Н. Заварицкого. Она родилась в г. Петропавловске-Камчатском в ноябре 1909 г. во время экспедиции Ф.П. Рябушинского. Летом 1931 г. на Авачинском вулкане работал и мой отец, Л.Н. Добрецов, в последствии известный физик, профессор, один из активных учёных Ленинградского Физ-Теха и зав. кафедрой электроники Ленинградского Политеха. После встречи на Камчатке осенью 1931 г. отец и мать поженились, благодаря чему я, еще два брата и сестра появились на свет. В своём дневнике лета 1931 г. мать написала (Из российской глубинки в науку, 2002): «...Камчатка со своими вулканами подавляет всё. Хочется раствориться, слиться с ней. Какая дикая красота, она захватывает и увлекает меня! ...моя самостоятельная работа вызывает некоторые опасения. Ведь впервые приходится работать по петрографии в поле, быть на изверженных породах со всей их сложностью...»

Отец по итогам изучения газов в кратере и сольфатарах Авачи опубликовал статью, совместную с А.Н. Заварицким. Экспедиция А.Н. Заварицкого хорошо описана в книге воспоминаний Б.И. Пийпа (2006).

В 1984 г. опубликована книга под моей редакцией и с моим участием (Косыгин, Добрецов, 1984), посвящённая петрохимии и петрохимической зональности вулканов Камчатки и Курильских островов. Сам я вулканы Камчатки не исследовал, но работал в 1963-65 гг. на севере Камчатки в Пенжинском хребте и на полуострове Камчатский мыс по изучению офиолитов и высокобарических пород. Эти материалы вошли в мою докторскую диссертацию и монографию (Добрецов, 1974). Офиолиты и глаукофановые сланцы извлекаются из зоны субдукции тектоническим способом в отличие от вулканов, образующихся путём плавления в зоне субдукции. Наконец, в 1980-х годах на Камчатке работала дочь моего старшего брата Г.Л. Добрецова – Добрецова Ю.Г. Таким образом, четыре поколения Добрецовых – Келлей работали на Камчатке и внесли свой вклад в изучение вулканизма и геологии Камчатки.

Работа по петрохимии вулканов и их связи с глубинным строением (Косыгин, Добрецов, 1984) подтолкнули меня к работам по моделированию процессов субдукции, сначала на качественном уровне (Добрецов, 1980), а затем было проведено теплофизическое моделирование основных сегментов зоны субдукции совместно с А.Г. и А.А. Кирдяшкиными. Основные результаты этого моделирования изложены в монографии (Добрецов и др., 2001) и серии статей.

Моделированию зон субдукции посвящено большое количество работ (Добрецов и др., 2001; Добрецов и др., 2009; Arcay et al., 2005; Bonnardot et al., 2008; Heuret et al., 2007; и др.). Особенностью нашего моделирования является построение системы взаимоувязанных моделей, характеризующих разные фрагменты зоны субдукции и разные ее стадии: 1) Модель субдукционно-аккреционного клина как главного регулятора устойчивости зоны субдукции; 2) Модель плавления и вулканизма над зоной субдукции; 3) Модель перехода аккреции в коллизию и эксгумации глубинных пород.

В настоящем обзоре будут кратко изложены основные итоги этого моделирования и сформулированы задачи для следующего этапа исследований на фоне общих геодинамических задач.

Построение системы моделей (итоги 1 этапа)

Постановка задач иллюстрируется рис. 1. На рис. 1а показана схема зоны субдукции, иллюстрирующая её секториальность по глубине (секторы 1-5) и типы вулканизма I, II и III.

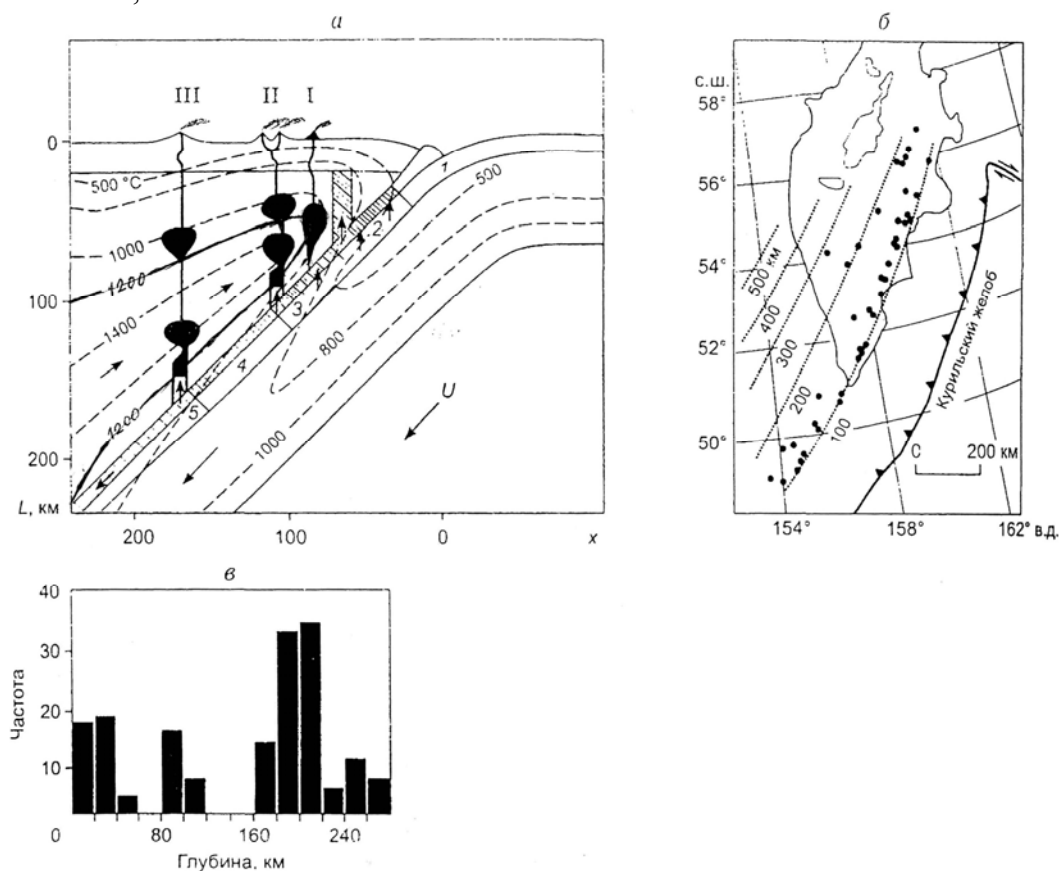


Рис. 1. Строение зоны субдукции. а – принципиальный разрез зоны субдукции, иллюстрирующий её секториальность по глубине (секторы 1-5) и три типа вулканизма I, II и III; б – изолинии субдукционной поверхности и вулканы (точки) на Камчатке и Курилах; в – гистограммы землетрясений (Добрецов, Кирдяшкин, 1997; Hasegawa, Nakajima, 2004; Tatsumi, 1989). На рис. 1а толстой линией 1200 °C выделен горячий надсубдукционный клин.

Рассмотрим кратко, что представляют собой сектора 1-5:

- 1) Упруго-вязкий аккреционный клин, регулирующий стабильность зон субдукции и характеризующийся размерами $\ell=50-150$ км и $h_0=7-20$ км (рис. 2).
- 2) Зона дегидратации и метаморфических реакций зеленосланцевой-глаукофансланцевой и эпидот-гранат-амфиболитовой фаций. Поток флюидов из зоны дегидратации создаёт поля гидротермально-измененных пород перед вулканическим фронтом (Долина Гейзеров, кальдера Узон, Паужетское и Мутновское поля и др. на Камчатке) и обуславливает редкость здесь землетрясений (рис. 1в).

3) Зона эклогитизации, утяжеляющая плиту и ускоряющая процесс субдукции; на краю этой зоны может происходить плавление амфиболитов либо взаимодействие поднимающихся флюидов с краем горячего надсубдукционного клина с образованием высоководных, но высокотемпературных бонинитовых магм (Sharaskin et al., 1980; Sobolev, Chaussidon, 1996). I зона бонинитового магматизма характерна для ранней стадии энсиматических островных дуг, в частности, Идзу-Бонинской, дуги Тонга и, вероятно, южной части Курильской дуги (Высоцкий, 1989; Sharaskin et al., 1980);

4) Зона частичного плавления субдуцированных осадков и гидратированных базальтов при T около 1000°C с образованием и подъёмом «фронтальных» диапиров (зона вулканизма II). Как видно из рис. 1б, эта зона вулканизма возникает при глубине зоны субдукции 100-150 км, в среднем около 120 км (Добрецов и др., 2001). Первичные расплавы здесь должны быть дацит-андезитового состава, но при взаимодействии с горячим надсубдукционным клином возникают андезит-базальтовые серии (Федотов, 1976; Marsh, Carmichael, 1974 и др.);

5) Зона полного плавления осадочного и базальтового слоя и частичного плавления ультраосновной литосферы при $T=1000-1200^{\circ}\text{C}$, дающая начало зоне III «тылового» магматизма с магматическими сериями шошонит-латитового, пикрит-толеитового и щелочно-базальтового состава.

Рассмотрим последовательно модели, соответствующие секторам 1-2 (модель субдукционного клина) и секторам 3-5 (модель плавления и вулканизма).

1. Модель аккреционного клина – регулятора зоны субдукции.

На рис. 2 в соответствии с геологическими и геофизическими данными представлена схема клина (Добрецов, Кирдяшкин, 1991; Добрецов и др. 2001; Dobretsov, Kirdyashkin, 1992). Рассмотрен случай, когда континент неподвижен, а океаническая плита перемещается со скоростью U . Суммарная сила давления на край континента со стороны океанической плиты F соответствует силе вязкого трения от конвективного течения в астеносфере и утяжеления от эклогитизации и оценена $F \approx 10^{12}$ Н/м. Угол наклона γ зависит от соотношения вертикальной и горизонтальной компонент скорости U , которая в свою очередь зависит от вклада силы, созданной эклогитизацией. Принимаем, что $h(x)/\ell \ll 1$, т.е. клин плоский и тонкий. Размеры клина ℓ и h_0 оценены для северо-западной Японии (Magee, Zobak, 1993) $\ell=150$ км, $h_0=25$ км, в дальнейшем допускаем вариации $\ell=50-150$ км, $h_0=25-5$ км (рис. 3). Пренебрегая конвективными членами и изменениями давления по толщине тонкого клина ($\partial P/\partial y=0$), уравнение движения сводится к виду

$$\frac{\partial P}{\partial x} = \eta \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \quad (1)$$

где P – внутреннее давление в клине как превышение над литостатическим ($P=P_{\text{общ}}-P_{\text{лит}}$);

η – динамическая вязкость в клине; x, y – координаты; $u=u(x, y)$ – скорость течения в вязком клине (рис. 2). В клине преобладают осадки с линзами серпентинитов и вулканитов (Добрецов и др., 2001; Зоненшайн, Кузьмин, 1993), поэтому оценка $\eta=10^{17}-5 \cdot 10^{18}$ н·с/м².

Уравнение неразрывности для тонкого слоя ($h(x)/\ell \ll 1$) запишется в виде

$$\theta = \int_0^{h(x)} u dy = \text{const} \quad (2)$$

где θ – расход материала по толщине клина.

Граничные условия для уравнений (1) и (2) следующие: $u=U$ при $y=0$, $u=0$ при $y=h(x)$; $P=P_0$ при $x=0$ (во входном сечении клина); $P=P_\ell$ при $x=\ell$ (в выходном сечении h_ℓ). При указанных граничных условиях решение уравнений (1) и (2) получены в работах

(Добрецов и др., 2001; Dobretsov, Kirdyashkin, 1992). Наиболее важные результаты приведены на рис. 2 и 3.

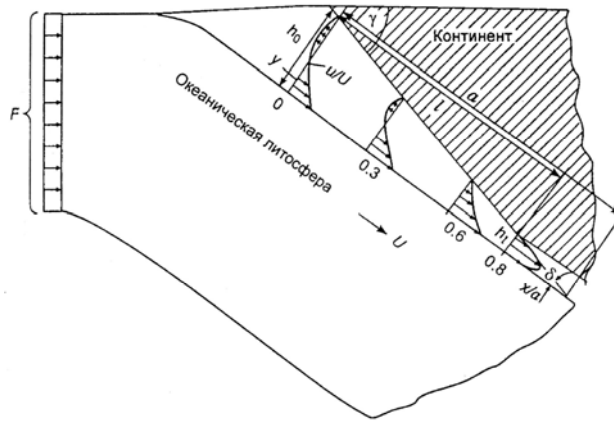


Рис. 2. Модель аккреционного клина и основные обозначения. Профили скорости течения в клине соответствуют параметрам $\bar{\ell} = \ell / a = 0.8$, $P_0 = P_\ell$ и рис. 1а.

Профили скоростей течения в клине (рис. 2) соответствуют $\bar{\ell} = \ell / a = 0.8$ и получены при $P_0 = P_\ell$ и максимальном расходе при $\bar{\ell} = 0.7$, когда $\frac{5\theta}{h_0 u} = 2$. Как видно из

рис. 2, в верхней трети клина возникают возвратные течения, но средняя скорость их невелика, порядка 1-2 см в год при $U=9-10$ см/год. По геологическим наблюдениям, они реализуются в виде надвигов и/или формирования олистостром и меланжей, в которых могут выносятся к поверхности породы с глубины при $\ell < 0.6a$ (при $\ell=100$ км около 50 км) (Добрецов и др., 1997; Cloos, 1993).

При закупоривании выходного отверстия h_l подводной горой (симаунтом) или крупным клином от островной дуги или микроконтинента, происходит выдавливание вязкого материала из клина с возрастанием скорости возвратного движения до величин, больших скорости опускания плиты. Подробнее модель выдавливания (corner flow) сформулирована в работах (Cloos, 1993; Peacock, 1996) и эксгумация глаукофановых сланцев и эколгитов рассмотрена в наших работах (Добрецов и др., 2001; Dobretsov, 1991; Dobretsov, Kirdyashkin, 1992, 1994).

На рис. 3 показаны соотношения h_o и h_ℓ , при которых наблюдается устойчивое соотношение в клине, т.е. сила воздействия плит на вязкий клин равна суммарной силе давления в клине. Вычисления проведены для постоянного значения силы давления океанической плиты $F=5 \cdot 10^{11}$ н/м (на длину одного погонного метра вдоль оси желоба) и средней скорости $U=3 \cdot 10^{-9}$ м/сек (9,5 см/год) при варьирующих $\eta=10^{17} - 5 \cdot 10^{18}$ н·с/м²) и $\ell=50-150$ км.

Область, где $h_o > h_\ell$ соответствует области устойчивого существования аккреционного клина и самой субдукции, когда происходит саморегулирование конфигурации клина при возмущениях субдукции (например, при попадании в зону субдукции заметных неровностей рельефа или изменения вязкости пород в клине). Поясним это на примере.

При значениях параметров, соответствующих кривой 2 ($\ell=100$ км, $\eta=10^{18}$ н·с/м²) в точке (а) ($h_o=12$ км и $h_l=1.65$ км), давление в клине превышает силу воздействия плит на клин, вследствие чего происходит раздвигание плит и увеличение размера клина по пунктирной линии, параллельной линии $h_o=h_\ell$ до пересечения с кривой 2, где сила давления в клине сравняется с силой давления на клин. Если конфигурация клина соответствует точке (в) ($h_o=20$ км и $h_\ell=3$ км), то в вязком клине сила внутреннего давления меньше силы давления на клин и произойдет уменьшение клина до $h_o=17$ км и $h_\ell=1,7$ км.

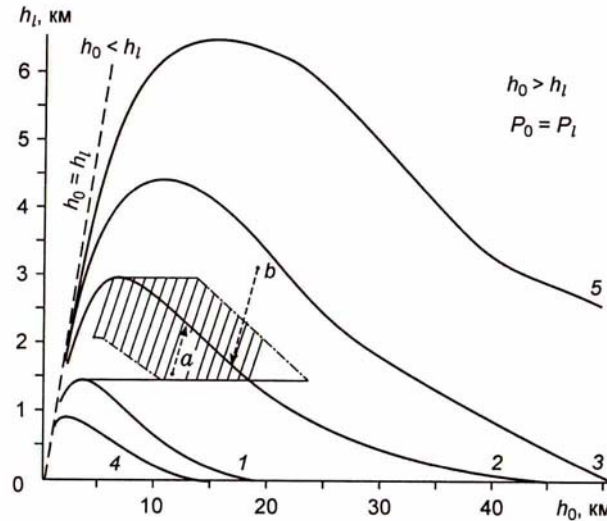


Рис. 3. Взаимосвязь толщины вязкого клина (h_0 , h_l) между литосферными плитами океана и континента по уравнениям (Добрецов, Кирдяшкин, 1991; Добрецов и др., 2001) когда $P_0 = P_l$, $F = 5 \cdot 10^{11}$ Н/м, $U = 9.3$ см/год в условиях устойчивого равновесия. При $\eta = 10^{18}$ Н·с/м²: 1 - $\ell = 50$ км; 2 - 100 км; 3 - 150 км; 4 - при $\eta = 10^{17}$ Н·с/м², $\ell = 100$ км; 5 - при $\eta = 5 \cdot 10^{18}$ Н·с/м², $\ell = 100$ км. Заштрихованная область – наиболее вероятные размеры клина. Стрелками a и b показано изменение размеров клина при восстановлении равновесия.

Кривые на рис. 3 определяют предельные размеры при соответствующих значениях длин клина ℓ и средней вязкости в клине η . Например, при максимальных размерах клина ($\ell = 150$ км) и средней вязкости $\eta = 10^{18}$ Н·с/м² (кривая 3) и $h_l > 1$ км, максимальное значение $h_0 = 40$ км. Размеры клина возрастают с уменьшением вязкости (сравни кривые 4, 2 и 5 при постоянной длине $\ell = 100$ км) и с ростом ℓ от 50 до 150 км (сравни кривые 1, 2, 3). При средних параметрах ℓ от 70 до 125 км и $\eta = 10^{18}$ Н·с/м² ожидаемые размеры $h_0 = 5$ -25 км (что соответствует наблюдаемым входным размерам клина) и $h_l = 1.5$ -3 км, что определяет размер h_l для следующей модели.

Модель плавления и вулканизма в зоне субдукции.

Исходные данные для модели представлены на рис. 4. Рассмотрим в первую очередь верхние слои погружающейся океанической плиты ниже аккреционного клина: 1) плоский вязкий слой мощностью $h_l = h_\ell = 1.5$ -3.5 км, состоящий в основном из метаморфизованных осадков; 2) океаническую кору базальт-диабаз-габбрового состава мощностью $h_2 = 10$ -13 км. В плоском вязком слое скорость течения U_0 линейно уменьшается от U в подошве слоя до 0 в кровле слоя:

$$U_0 = \left(1 - \frac{y - h_2}{h_l}\right) \cdot U \quad (3)$$

где y - координата, перпендикулярная поверхности погружающейся плиты (рис. 4).

В среднем тепловой поток в основании слоя h_2 в зоне субдукции равен 0, т.е. при $y=0$ $\partial T / \partial y = 0$, поскольку минимум температуры в верхней части зоны субдукции расположен в слое h_l и в нижней – ниже слоя h_2 (изотермы T_1 , T_2 и T_3 на рис. 4) (Anderson et al., 1978). В других моделях минимум температуры ниже слоя h_2 на всём протяжении зоны субдукции, но это для модели плавления несущественно. В любом случае, температурный градиент вдоль субдуктирующей плиты положительный, т.е. при $y=0$ $\partial T / \partial x > 0$ и изотерма 1000°C (начало плавления) пересекает слой h_l на глубине около 100 км.

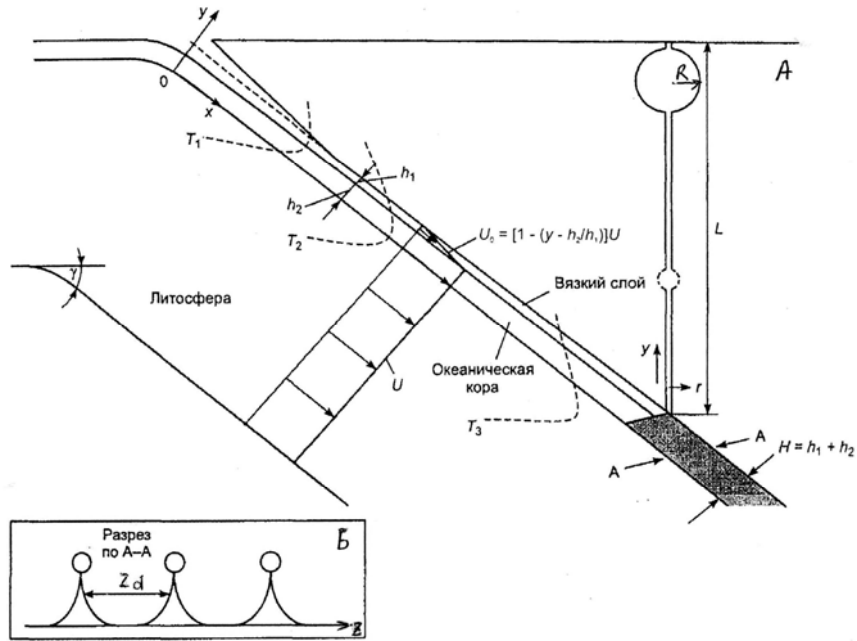


Рис. 4. Модель плавления в зоне субдукции: показано вязкое течение в слое h_1 (рис. 1), положение минимума изотерм T_1 , T_2 и T_3 , граничные условия в зоне плавления мощностью $H=h_1+h_2$ (заштриховано) и схема образования диапира над зоной плавления. На схематическом разрезе по А-А изображены диапиры, формирующиеся вдоль зоны плавления (разрез А-А).

Другими словами, начиная с глубины 100-120 км при $x=200-300$ км (рис. 4) плавится в зоне субдукции вязкий метаосадочный слой h_1 и метабазитовый слой h_2 , т.е. толщина зоны плавления $H \geq h_1+h_2$, но поскольку эта зона наклонная, то $H^* \geq H \geq 13$ км (с учётом также формирования утолщения в головке зоны плавления H^* до 25 км). На этой глубине, как отмечено выше, плавление не полное и из осадочно-базитовой коры выплавляются риолит-дацитовые или андезитовые расплавы. На большей глубине можно ожидать полное плавление слоя H и частичное плавление подстилающей литосферной мантии, т.е. формирование пикрит-базальтовой или щелочно-базальтовой серии в тыловой зоне субдукции.

Удельное количество расплава, образующегося в головке зоны H на 1 погонный метр зоны субдукции в единицу времени вдоль линии, по которой происходит отрыв расплава (разрез по линии А-А)

$$W_0 = UH(1n\eta)\varphi = UH\varphi \text{ (м}^3/\text{с)} \quad (4)$$

где φ - доля расплава, меняется от 0.2 до 1, в среднем 0.5, $1n\eta$ – 1 погонный метр.

При подъёме лёгкого расплава вдоль границы отрыва (магматического фронта) формируются локальные структуры или система диапиров через равные промежутки Z_d , которые по экспериментальным оценкам (Whitehead, Luther, 1975) пропорциональны H^* , т.е.

$$Z_d = nH^*, \text{ где коэффициент интенсивности } n > 2,5 \quad (5)$$

В этом случае количество поступающего расплава для одного диапира

$$W = UH \cdot Z_d \cdot \varphi = U(H^*)^2 \cdot n \cdot \varphi, \quad (6)$$

а количество тепла Q_d , поступающего из зоны плавления вместе с диапиром

$$Q_d = W\rho(B + c\Delta T) \quad (7)$$

где ρ - плотность расплава, B - теплота плавления, c – удельная теплоёмкость, ΔT - перегрев расплава относительно солидуса.

Реальное расстояние между крупными вулканами (или группами вулканов, рис. 1б) для Камчатки и Хонсю равно 60-140 км, при этом группировки вулканов для северного Хонсю подтверждаются их совпадением с мантийными струями, реконструируемыми по сейсмотомографическим данным (Tamura et al., 2002; Zhao, 2004).

При $H^*=20$ км, $Z_d=60-120$ км, получаем $n=3.5-6$; при $H^*=15$ км, $n=5-8$. Наиболее вероятная оценка $n=5.5$.

По экспериментальным данным (Olson, Singer, 1985; Whitehead, Luther, 1975) голова диапира имеет шарообразную или грушеобразную форму с радиусом R , а питающий канал – более узкий цилиндр с радиусом $r < R$. По сейсмотомографическим данным – в виде конусообразной струи (как на рис. 4Б), а шаровидное или линзовидное утолщение появляется только в случае формирования промежуточной камеры. В любом случае, когда диапир (или струя) поднялся до поверхности и питается каналом (или струей) на всю длину L от очага плавления (рис. 4), постоянная подпитка очага вулкана возможна только при условии

$$Q_d \geq \sum q_k \quad (8)$$

где $\sum q_k$ - теплопотери от цилиндрически-струйного канала высотой L и в первом приближении

$$\sum q_k = 0.5 \pi \lambda m \int_0^L \Delta T \approx 0.5 \pi \lambda m \cdot L \cdot \overline{\Delta T}_1 \quad (9)$$

где λm – теплопроводность окружающей мантии, $\overline{\Delta T}_1$ - средний температурный перепад в мантии.

Из уравнений (7), (8), (9) после некоторых преобразований получим критерий стабильности вулканизма:

$$\frac{UH^*}{a_0} \cdot \frac{H^* \cdot n}{L} = \frac{Pe \cdot H^* \cdot n}{L} \geq 1,6 \quad (10)$$

$$\text{при среднем } n=5.5, \quad \frac{Pe \cdot H^*}{L} \geq 0.3 \quad (11)$$

где $Pe = UH/a_0$ – критерии Пекле, $a_0 = \lambda/\rho \cdot Co$ - аналог температуропроводности

$Co = \frac{B + C\Delta T}{\Delta T_1}$ - аналог удельной теплоемкости.

Если выполняются условия (10)-(11), то диапир достигает дневной поверхности. Если нет - то диапир (струя) замерзнет при подходе к литосфере или в литосфере, магматический очаг лишится подпитки и вулканизм прекратится.

Для средних условий зон субдукции $H/L=0,1$ и $Pe_0 = UH/a_0 = (1.0-1.2)10^{10}U$ и критерий (11) превращается в $1.1 \cdot 10^9 U \geq 0.3$.

При $U > 0.3 \cdot 10^{-9}$ м/с условие (11) выполняется. При малом H^* или большом L , когда $H/L < 0.1$ и/или когда $U < 0.3 \cdot 10^{-9}$ (менее 1см/год) условие (10) не выполняется и

вулканизма нет, как, например, в дуге Окинава, где кроме юго-западной Японии, вулканизм не проявлен, а субдукция есть.

Выводы и задачи на будущее

Удалось разделить гидродинамическую задачу (устойчивость аккреционного клина и субдукции в целом) и тепловую задачу (условия плавления и устойчивость вулканизма в предположении, что количество расплава соответствует количеству субдуцированного корового вещества). Полученные результаты не только близки к наблюдаемым параметрам зоны субдукции, но и позволили уточнить ряд физических параметров. Мы уточнили толщину вязкого слоя («смазки») ниже аккреционного клина $h_2=1.5-3.5$ км (среднее 2.5 км) и толщину зоны плавления $H^* \geq 13$ км (15-20 км). При этих параметрах расстояние от желоба до магматического фронта составляет 100-250 км, в наиболее быстрых зонах субдукции 250-500 км; средняя высота от зоны плавления до магматического фронта - 100-120 км, а расстояние между крупными вулканами (или группами вулканов) $X_k=60-120$ км при $H^*=15-20$ км и коэффициенте интенсивности $n=5-6$.

Дальнейшее теплофизическое моделирование плавления в зоне субдукции требует рассмотрения дополнительных факторов:

- 1) фазовых переходов в слоях h_1 и h_2 до плавления (в секторах 2 и 3 на рис. 1), в особенности реакций дегидратации, и возможность «затаскивания» серпентинитов (наиболее богатых водой) до глубин, значительно превышающих 120 км;

- 2) учета конвекции в зоне плавления и оценки верхних пределов мощности зоны плавления H^* в секторах 4 и 5 (рис. 1);

- 3) учета динамики взаимодействия поднимающихся флюидов с нагретым надсубдукционным клином с возникновением вторичного очага плавления, а затем взаимодействия вторичного очага с поднимающейся дацит-андезитовой магмой;

- 4) учета динамики прохождения флюидов и расплавов через островодужную литосферу, в частности, динамики промежуточных очагов.

Необходимо также учитывать детали современного вулканизма (Лаверов и др., 2005), которые связаны с динамикой промежуточных очагов. Задачи 3 и 4 требуют дополнительных комментариев.

Максимальное содержание воды (до 5% H_2O) при высоких температурах (до 1500⁰С) характерно для бонинитовых магм (Добрецов, 1991; Добрецов . и др., 2001; Соболев, 1996; Sobolev, Chaussidon, 1996). Это противоречит предположению, что бонинитовые магмы образуются за счет плавления амфиболитов в начальной части зоны плавления, а скорее образуются за счет плавления горячей и еще неистощённой (амфиболизированной) мантии надсубдукционного клина (рис. 1) в начальной стадии субдукции. С течением времени бонинитовый магматизм прекращается, т.к. надсубдукционная мантия истощается, а изотерма 1400⁰С сдвигается вглубь надсубдукционной зоны. Другие модели плавления в надсубдукционной зоне (без бонинитов) вызывают сомнение и требуют экспериментальной и модельной проверки.

Равновесие мантии с поднимающейся андезитовой магмой может быть окончательно достигнуто на глубине 25-30 км при $T=1150-1200^0C$ (March, Carmichael, 1974), где останавливаются диапиры и образуются промежуточные камеры. Это совпадает с оценками С.А. Федотова (1976) о глубине промежуточных камер под Курилами и Камчаткой 30-35 км, хотя есть оценки (March, 1982) более глубокого (60-70 км) положения промежуточных камер ниже основания литосферы (рис. 1). По оценкам В.Н. Шарапова (1994) над поднимающимся диапиром (магматической колонной) тепловой поток q_a в 1.5-2 раза выше стационарного q_0 . При $q_a/q_0=1.5$ и времени подъема 20-25 млн. лет, диапир останавливается и формируется зона магмогенерации на глубине около 60 км. При $q_a/q_0=2$ и времени подъема 10-20 млн. лет зона магмогенерации возникает на глубинах 30-50 км, что близко к вышеприведенным оценкам.

Наконец, существуют общие геодинамические проблемы об изменении интенсивности и скорости субдукции во времени, о соотношении островодужного вулканизма и базальтового магматизма в зонах спрединга. По нашим оценкам (Добрецов и др., 2001), интенсивность магматизма в срединно-океанических хребтах и зонах субдукции не совпадает, часто находится в антифазе или запаздывает на 30-60 млн. лет. Например, 120-90 млн. лет наблюдался максимум магматизма в СОХ и снижение активности островных дуг, которая возросла после 30 млн. лет, когда интенсивность магматизма в СОХ уменьшилась. По мнению (Matsuura, Liou, 1998) на рубеже около 750 млн. лет произошло резкое возрастание интенсивности и скорости субдукции, что сопровождалось появлением высокобарических пород (с коэситом и алмазом), извлеченных из зон субдукции. Возрастание скорости субдукции привело к затягиванию водосодержащего материала в мантию, общему возрастанию магматизму, увеличению высоты стояние континентов с появлением широкого шельфа и первых больших рек.

Все такие вопросы требуют самостоятельного детального обсуждения. Желательно также следующий этап развития моделей зон субдукции делать вместе с вулканологами.

Список литературы

Высоцкий С.В. Офиолитовые ассоциации островодужных систем Тихого океана. Владивосток: Наука, 1989. 196 с.

Добрецов Н.Л. Глаукофансланцевые и эклогит-глаукофонсланцевые комплексы СССР. Новосибирск: Наука, 1974. 429 с.

Добрецов Н.Л. Введение в глобальную петрологию. Новосибирск: Наука, Сибирское отделение, 1980. 199 с.

Добрецов Н.Л., Кирдяшкин А.Г. Динамика зон субдукции: Модели формирования аккреционного клика и подъема глаукофановых сланцев и эклогитов // Геология и геофизика. 1991. № 3. С. 4-20.

Добрецов Н.Л., Кирдяшкин А.Г. Моделирование процессов субдукции // Геология и геофизика. 1997. Т. 38. № 5. С. 846-856.

Добрецов Н.Л., Кирдяшкин А.Г., Кирдяшкин А.А. Глубинная геодинамика. Изд. второе. Новосибирск, Изд. СО РАН, Филиал «Гео», 2001. 409 с.

Добрецов Н.Л., Кирдяшкин А.Г., Кирдяшкин А.А. Геодинамическая и тепловая модель зоны субдукции // Физическая мезомеханика, 2009. Т 12. № 1. С. 5-16.

Из российской глубинки в науку. Научная династия Келлей – Добрецовых. Ред. В.Н. Молодин, В.Д. Ермиков. Изд. СО РАН, 2003. 160 с.

Кель Н.Г. Карта вулканов Камчатки. Ленинград: Изд. Русского географического общества, 1928, 158 с., с приложением карты на 2^х листах и 45 снимков.

Косыгин Ю.А., Добрецов Н.Л. (Ред.) Петрохимическая зональность четвертичных островных дуг на северо-западе Тихого океана. М., Наука, 1984. 94 с.

Кирдяшкин А.А., Кирдяшкин А.Г. Влияние скорости движения океанической литосферы на свободно-конвективные течения в астеносфере под срединно-океаническим хребтом // Физика земли. 2008. № 4. С. 35-47.

Лавров Н.П., Добрецов Н.Л., Богатилов О.А. и др. Новейший и современный вулканизм на территории России. М.: Наука, 2003. 605 с.

Пийп Б.И. Дневники вулканолога Бориса Пийпа. М.: ЛОГАТА, 2006. 160 с.

Соболев А.В. Включения расплавов в минералах как источник принципиальной петрологической информации // Петрология. 1996. Т. 4. № 3. С. 228-239.

Федотов С.А. О подъеме основных масс в земной коре и механизме трещинных базальтовых извержений // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1976. № 10. С. 5-23.

Зоненшайн Л.П., Кузьмин М.И. Палеогеодинамика. М.: Наука, 1993. 192 с.

Anderson R.N., De Long S.E., Schwarz W.M. Thermal model for subduction with dehydration in the downgoing slab // J. Geology, 1978. V. 86. P. 731-739.

- Arcay D., Tric E., Doin M.P.* Numerical simulation of subduction zones: effect of slab dehydration on the mantle wedge dynamics // *Phys. Earth. Planet. Inter.* 2005. V. 149. P. 133-153.
- Bonnardot M.A., Hassani R., Tric E.* Numerical modeling of lithosphere-asthenosphere interaction in a subduction zone // *Earth. Planet. Sci. Lett.* 2008. V. 272. P. 698-708.
- Cloos M.* Lithosphere buoyancy and collisional orogenesis: Subduction of oceanic plateaus, continental margins, island arcs, spreading Ridges and seamounts // *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 1993. V. 105. № 6. P. 715-735.
- Dobretsov N.L.* Blueschists and eclogites: a possible plate tectonic mechanism for their emplacement from the upper mantle // *Tectonophysics*, 1991. V. 186, P. 253-268.
- Dobretsov N.L., Kirdyshkin A.G.* Subduction zone dynamics: models of an accretionary wedge // *Ofioliti*. 1992. V. 17. № 1. P. 155-164.
- Dobretsov N.L., Kirdyshkin A.G.* Blueschist belts of North Asia and models of subduction-accretion wedge in Reconstruction of the Paleo-Asian ocean // *VP Intern. Sci. Publ.*, Netherlands, 1994. P. 91-106.
- Hasegawa A., Nakajima J.* Geophysical constraints on slab subduction and arc magmatism // *The State of the Planet. Geophysics. Mon.* 150. IUG 6 V. 19. 2004. P. 1-13.
- Heuret A., Funiciello F., Facenna C., Lallemand S.* Plate kinematics, Slab shape and back-arc stress: a comparison between laboratory models and current subduction zones // *Earth. Planet. Sci. Lett.* 2007. V. 256. P. 473-483.
- Magee M.E., Zobak M.D.* Evidence for a weakly interpolated thrust fault along the Northern Japan subduction zone and implication for the mechanism of thrust faulting and fluid expulsion // *Geology*. 1993. V. 21. № 9. P. 809-812.
- Marsh B.D.* On the mechanics of igneous diapirism, stoping and zone melting // *Amer. J. Sci.* 1982. V. 282. P. 808-855.
- Marsh B.D., Carmichael I.S.* Denioff zone magmatism // *J. Geophys. Res.*, 1974. V. 79, № 8. P. 1196-1206.
- Maruyama Sh., Liou J.G.* Initiation of ultrahigh-pressure metamorphism and its significance on the Proterozoic-Phanerozoic boundary // *Islandarc*. 1998. V. 7. P. 6-35.
- Olson P., Singer H.* Creeping plumes // *J. Fluid. Mech.*, 1985. V. 158. P. 511-531.
- Peacock S.M.* Thermal and petrologic structure of subduction zones // *Subduction: Top to bottom. Geophys. Mon.* 96. 1996. P. 119-132.
- Sharaskin A.Ya., Dobretsov N.L., Sobolev N.V.* Marianites – the clinoenstatite-bearing pillow-lavas, associated with the ophiolite assemblages of Mariana trench // *Ofiolites. Ministry of Agricultural and Natural Resources, Nicosia, Proc. Intern. Ophiolite Symp. Cyprus / Panayiotou, A. (Ed.)*. 1980. P. 473-479.
- Sobolev N.V., Chaussidon M.* H₂O concentration in primary melt from suprasubduction zones and mid-oceanic Ridges // *Earth. Planet. Sci. Lett.* 1996. V. 137. P. 45-55.
- Tamura Y., Tatsumi Y., Zhao D. et al.* Hot fingers in the mantle wedge: new insight into magma genesis in subduction zones // *Earth. Planet. Sci. Lett.* 2002. V. 197. P. 105-116.
- Tatsumi Y.* Migration of fluid and of basalt magmas in subduction zones // *J. Geophys. Res.*, 1989. V. 94. P. 4697-4707.
- Ueda S.* Subduction zones: an introduction to comparative subductology // *Tectonophysics*, 1982. V. 81. P. 133-159.
- Van Bergen M.J., Vroon P.Z., Hoogewerff J.A.* Geochemical and tectonic relationships in the East Indonesia arc-continent collision: implication for subduction of the Australian passive margin // *Tectonophysics*, 1993. V. 223. P. 97-116.
- Whitehead I.A., Luther D.S.* Dynamic of laboratory diapir and plume models // *J. Geophys. Res.*, 1975. V. 80. № 25. P. 705-717.
- Zhao D.* Global tectonographic images of mantle plumes and subduction slabs: insight into deep Earth dynamics // *Phys. Earth. Planet.* 2004. V. 196. № 1. P. 3-34.

ЗООЛОГИЧЕСКИЙ АСПЕКТ ЭКСПЕДИЦИИ Ф.П. РЯБУШИНСКОГО: ПОСЕВЫ И ВСХОДЫ

Журавлев Ю.Н.

Биолого-почвенный институт ДВО РАН, Владивосток; e-mail: zhuravlev@ibss.dvo.ru

Празднуя столетие крупнейшей из экспедиций, изучавших Камчатку в предыдущие столетия, мы не можем не сравнивать тогдашнее состояние полуострова с теперешним. И конечно, не можем не вспомнить, что экспедиции Ф.П. Рябушинского предшествовали несколько других экспедиций, явившихся значительными вехами в исследовании этого региона. Результаты этих экспедиций опубликованы в разной степени и в разной форме, но все они представляют собой уникальные документы, часто единственные свидетельства состояния полуострова, его природы и его обитателей в еще более ранние времена и тоже дают материал для сравнения.

Исследователи сопровождали Витуса Беринга в первой (1725-30 гг.) и второй (1741-42 гг.) экспедициях на Камчатку. Самым известным из них был прославленный немецкий натуралист Георг Вильгельм Стеллер (1709–1746), адъютант Петербургской Академии наук. Его обстоятельное описание полуострова еще в 1747 году было доставлено в Санкт-Петербургскую Академию наук, где пролежало несколько лет без движения: в тот период все труды участников Второй Камчатской экспедиции были объявлены правительством секретными. Труд был впервые напечатан в Германии в 1774 году (Steller, 1774), а полноценный перевод его появился совсем недавно (Стеллер, 1996).

Еще большее число ученых участвовало в Великой северной экспедиции (1733-1743 гг.). Академикам Мюллеру и Гмелину помогал Степан Петрович Крашенинников (1711–1755). Он был послан на Камчатку и приобрел известность за свои отчеты по географии, геологии, минералогии, ботанике и зоологии полуострова. Крашенинников один представлял собою комплексную экспедицию, выступая то как геолог и географ, то как ботаник и зоолог, то как историк и этнограф, то как лингвист. Этот выдающийся исследователь был убежден в том, что Камчатка «к житию человеческому не меньше удобна, как и страны всем изобильные». Его книга «Описание земли Камчатки» (Крашенинников, 1755) справедливо считается самой первой в истории России научной академической монографией.

Книга-отчет фон Дитмара «Поездки и пребывание в Камчатке в 1851–1855 гг.» (1901) более ориентирована на описание ресурсов региона, потому что, как указывал автор, «со стороны Восточно-Сибирской администрации мне было наипростейше приказано обратить особенное внимание на нахождение металлов, каменного угля и других более ценных продуктов минерального царства».

Важный вклад в исследование и описание территории внесли: Эшшольц Иоанн Фридрих (1793–1831), профессор анатомии Дерптского университета, участник двух кругосветных плаваний; Вознесенский Илья Гаврилович (1816–1871), член-корреспондент Русского географического общества; Дыбовский Бенедикт Иванович (1833–1930), выдающийся польский ученый, географ и зоолог, медик и лингвист, иностранный член-корреспондент Академии наук СССР, исследователь Сибири, Дальнего Востока, и многие другие.

Будучи специалистами в своих областях, эти выдающиеся исследователи старались, однако, не опустить ни одной замеченной ими детали в жизнеописании камчадалов, в природе Камчатки, ее климате, благодаря чему их отчеты носят комплексный характер.

Но по причине кратковременности, малой насыщенности специалистами, в связи с трудностями передвижения и огромными размерами территории, полученные в этих экспедициях сведения оставались отрывочными, а нередко нуждались в уточнении.

Экспедиция Ф.П. Рябушинского (далее будем именовать ее как Экспедиция - с большой буквы) задумывалась как экспедиция, которая избежит многих из этих недостатков, ее комплексный характер был определен уже при планировании. Академик В.Л. Комаров писал впоследствии:

«В апреле 1906 г. ко мне обратились с предложением принять участие в организуемой экспедиции для всестороннего исследования Камчатки. Согласно плану организации этой экспедиции, намечалось шесть более или менее самостоятельных отделов: топографический, геологический, ботанический, зоологический, метеорологический и этнографический, с многочисленным научным персоналом (всего предполагалось тогда 24 представителя различных специальностей, врач и фотограф)».

Состав зоологического отряда

Зоологический отряд Экспедиции работал в 1908-1909 гг. в устье р. Камчатка, на Кроноцком и Курильском озерах, на Паужетке и Авачинской группе вулканов. Его руководителем был Шмидт Петр Юльевич (1872–1949) - зоолог и ихтиолог, внесший огромный вклад в изучение ихтиофауны северной части Тихого океана и дальневосточных морей России. В отряд также входили: сотрудник Зоологического музея Академии наук Бианки Валентин Львович (1857–1920) - зоолог, орнитолог и энтомолог; известный русский ихтиолог и гидробиолог Державин Александр Николаевич (1878–1963), впоследствии действительный член Азербайджанской академии наук; гидролог и метеоролог из Санкт-Петербургского университета Лебедев В.Н., и наконец, выписанный специально препаратор Мюнхенского музея Бэр Людвиг (??–1908), трагически погибший в начале экспедиции.

Богатства Камчатки в плане задач зоологического отдела

Зоологический отдел ставил своей задачей всестороннее изучение животных, рыб и птиц, обитающих на Камчатке. Специальный интерес для П.Ю. Шмидта представляло описание камчатской ихтиофауны, прежде всего лососевых рыб. Биоразнообразие шельфа, а тем более прибрежных глубин осталось недоступным для наблюдений в этой Экспедиции.

Много внимания уделялось добыче медведей, отличающихся на Камчатке особо большими размерами, поскольку эти гиганты не были представлены в музеях и коллекциях европейских городов. То же самое можно сказать о лосях и оленях Камчатки, снежных баранах и морских млекопитающих.

Уже в первые недели пребывания на Камчатке В.Л. Бианки описал 62 вида птиц и обратил внимание на бедность местной орнитофауны, но на насыщенность ее перелетными и кочующими видами.

Микроскопические объекты, прежде всего гидробионты, изучались одновременно с исследованиями вод камчатских источников и водотоков.

Детальное описание природы Камчатки, быта и хозяйственного уклада ее обитателей позволяет оценить изменения, произошедшие за этот столетний период.

Запасы лососевых рыб

По материалам Экспедиции можно полагать, что рыбные запасы камчатских акваторий еще не были подорваны к началу XX-го века. Об этом свидетельствует такая запись в дневнике П.Ю. Шмидта: «Местные жители, казаки Усть-Камчатска, ловили или, как они выражались, «черпали» рыбу так называемыми «чиручами», т.е. большими сетевыми сачками, сплывая в боте вниз по течению» (Шмидт, 1916, с. 28). Но грозные симптомы перелова уже обнаруживались на ранее освоенных пространствах Дальнего Востока, и в 1909 г. рыбопромышленник К.Л. Лавров, желая обеспечить стабильный подход рыбы, построил первый рыболовный завод на р. Праурэ (Хабаровский край,

бассейн р. Амур), рассчитанный на закладку 3,5 млн. молоди кеты и горбуши. Одновременно Российское правительство обязало промышленников заниматься искусственным воспроизводством лососей в качестве условия аренды рыболовных участков. И в 1914 и 1915 гг. на Камчатке начали действовать два рыбопроизводных завода, впрочем, низкопродуктивных и малоуспешных (Запорожец, 2006).

Сейчас на Дальнем Востоке существует 53 ЛРЗ, из них на Камчатке действует 6, что явно недостаточно в условиях быстрого снижения общего вылова и снижения процента высокоценных видов - чавычи, кижуча и даже нерки (Смирнов и др., 2006). Роль Камчатки в восстановлении лососевого стада незначительна. Так, в 2005 году с федеральных и частных ЛРЗ было выпущено молоди кеты, горбуши, кижуча и симы: Сахалинская область – 569.3 млн. (84.1% от общего выпуска по Дальнему Востоку); Хабаровский край – 28.7 млн. (4.2%); Камчатская область – 34.7 млн. (5.1%); Магаданская область – 24.7 млн. (3.65%); Приморский край – 19.64 млн. (2.9%). Столь малый вклад в воспроизводство совершенно недостаточен, особенно в связи с тем, что размеры промысла значительно перекрываются тремя видами браконьерства – промышленным, бытовым и криминальным (Ксенофонов., Гольденберг, 2008).

Нелососевые рыбные запасы

«В последних числах октября начался ход сельди. Весь Ковш (прилегающая к Петропавловску территория залива - ЮЖ) был полон ею. Несколько дней петропавловские обыватели вылавливали... значительное количество мелкой сельди, главным образом, замораживая ее для собак...» (Шмидт, 1916, с. 242).

Ситуация с сельдью сложилась на текущий момент непростая. Например, Жупановская субпопуляция уничтожена переловом, Тогда как в других популяциях численность сильно колеблется. Недавно (к 2000 году) наблюдался всплеск численности корфо-карагинской сельди – 3.7 млрд. особей к 2000 г.

В 1930 г. по рекомендации ТИНРО в р. Камчатка был перевезен из р. Седанка (Приморье) серебряный карась *Carassius auratus*, в 1955 г. – амурский сазан *Cyprinus carpio* и в 1958 г. - обская стерлядь *Acipenser ruthenus marsiglii*.

В настоящее время в бассейне реки воспроизводятся акклиматизированные популяции серебряного карася и амурского сазана; первый из них достаточно многочислен и имеет устойчивое местное промысловое значение (Бугаев, Вронский, 2005).

Попытка акклиматизации обской стерляди оказалась неудачной.

Характеристика нерыбных морских промысловых видов

Как уже отмечалось, Экспедиция в своем отчете мало внимания уделила морским беспозвоночным. Прежде всего, потому, что этот ресурс почти не осваивался. Положение начало меняться в послевоенные годы с созданием мощного добывающего флота. В настоящее время в прибрежных водах Камчатки обитают 13 видов крабов и крабоидов, 4 вида кальмаров, ряд видов мидий и других моллюсков, иглокожие представлены тремя видами морских ежей, двумя видами голотурий, дальневосточным трепангом (Сметанин, 2002). Мониторинг состояния популяций крабов и крабоидов, мидий, морских ежей и пр. осуществляется, преимущественно, Камчатским, Сахалинским и Магаданским отделениями НИРО (Архипова, 2005; Архипова, Владимирова, 2007; Евсеева, 2001; Иванов, 2007; Карасев, 2004).

Борьба с браконьерством

Охрана ресурсов полуострова от истребления была актуальна и до Экспедиции. О процветавшем именно в то время неконтролируемом хищничестве вблизи камчатских берегов свидетельствует полное уничтожение таких видов, как Стеллерова корова и Стеллеров баклан. При этом важно отметить, что местное население в основном поддерживало традицию разумного, или, как теперь сказали бы, неистощительного

природопользования. Это можно проследить на примере регулирования охоты на соболя, добыча которого во многом определяла благосостояние камчадалов. Так, руководитель зоологического отряда П.Ю. Шмидт свидетельствует: «Под влиянием дорогих цен на соболя, развившихся вследствие конкуренции, цены на все были чрезвычайно высокими; можно сказать даже, что деньги потеряли всякую цену в глазах камчадалов. Получая за соболя 100, 150, 200, даже иногда 300 рублей, обитатели Камчатки при своих низких культурных потребностях...жили в полном довольстве и не желали брать на себя лишних хлопот ни за какую цену» (Шмидт, 1916, с. 33).

Для сохранения численности соболя во времена Дитмара – чиновника для особых поручений при губернаторе (в 50-х годах XIX-го века), вся территория бассейна Кроноцкого озера была объявлена запретной для охоты на соболя. Предполагалось, что в долине Кроноцкого озера соболь будет разводиться в изобилии и оттуда переходить и в окрестные леса. При этом сроки и места добычи строго соблюдались самим обществом (Дубинин, Валенцев, 2002). Браконьерство, однако, процветало у берегов Камчатки, так как остановить иноземных браконьеров без поддержки государства было невозможно. Поддержка же была слабой и нерегулярной. Участники Экспедиции застали такую картину:

«Каждое лето десятки японских шхун подходят к трехмильной береговой полосе острова Беринга и особенно Медного и, пользуясь слабостью крейсерского надзора, посылают отсюда команды на шлюпках избивать котов. На островах организована охрана лежбищ. Алеуты, вооруженные винтовками, ведут постоянную борьбу с браконьерами, иногда успешно, даже забирая их в плен»...

«...пять японцев и один айн с хоккайдосской шхуны были застигнуты на берегу, обстреляны охраной и, пролежав ночь на камнях, сдались...». (Шмидт, 1916, с. 238).

Напряженная ситуация в отношении международного браконьерства сохраняется до сих пор. С 2000 по 2005 гг. самолеты СВПУ 26 раз применяли оружие против судов-браконьеров, причем 12 раз на поражение. При этом погибло два рыбака КНР и один Украины. Только в 2004 г. было задержано 8 российских и 5 зарубежных (под флагом Панамы) краболовов, а с их бортов в море выпущено более 235 тыс. живого краба (Бахарев, 2005; Джикия и др., 2006).

Медведь как товар

Медведь, его мясо, шкура и другие дериваты были важным подспорьем для жителей Камчатки. Однако добыча медведей осуществлялась по преимуществу случайно или попутно. «...много зверя пропадает зря в лесу, так как охотники стреляют небрежно и не преследуют раненого зверя... На урочище «У старичка» большой черный медведь следил за гуляющей в воде горбушей; каюры выпустили в него две пули и даже не остановились, чтобы выяснить результат выстрелов» (Шмидт, 1916, с. 236).

Сходная ситуация сохранялась до конца 1950-х, когда медведям и среде их обитания ничего не угрожало, а заготовки шкур носили локальный характер.

В.Н. Гордиенко и Т.А. Гордиенко выделяют в последующей истории медведя Камчатки еще три периода. В 1960-1980-е гг. происходило интенсивное геологическое изучение, промышленное и сельскохозяйственное освоение Камчатки. Во всех многочисленных партиях и оленеводческих бригадах появилось нарезное оружие, широко использовались вертолеты и гусеничная техника. Возникали конфликтные ситуации с медведями, в том числе со смертельным исходом для человека. Численность медведей стала повсеместно снижаться, и государством были предприняты определенные природоохранные меры.

С начала 1990-х годов медведь стал товаром, начался беспрецедентный пресс неконтролируемой коммерческой охоты и просто браконьерства. Административно-территориальный принцип распределения лицензий работал на отдельные охотничьи

фирмы. Долгосрочное закрепление охотничьих угодий за юридическими лицами позволило приостановить браконьерство медведей на отдельных территориях.

Наконец, в 2000-е годы, на фоне пока стабильного состояния популяции бурых медведей в последние годы отмечается заметное усиление активности человека в местах обитания медведей (интенсификация добычи минерально-сырьевых ресурсов, строительство горно-обогатительных комбинатов, линий газопровода, дорог и мостов), сопровождающееся загрязнением и уничтожением нерестилищ лососей. Также интенсифицировались вырубке леса и загрязнение ягодников. Встает проблема масштабного конфликта в системе отношений человек/медведь.

Мы наблюдаем явное «омоложение» популяции, т.е. преобладание на участках интенсивного промысла молодых животных. Коммерческая охота на молодых медведей не проводится, а за счет активной миграции молодых зверей число конфликтных ситуаций населения с медведями на территориях, прилегающих к населенным пунктам, увеличивается (Гордиенко, Гордиенко, 2002, 2006).

Другие крупные позвоночные суши

В 1972 г., в пределах Камчатской области началось регулярное освоение популяции лося в Пенжинском районе. В первые годы лимиты добычи были очень ограниченными - в пределах 3–5% от численности в период весеннего учёта (март–апрель) предстоящего сезона охоты. В числе первых был добыт лось общим весом 640 кг, рога которого на отечественных и зарубежных выставках были признаны мировым лидером среди охотничьих трофеев как в нашей стране, так и за рубежом (Филь, 2003).

Затем тоже добывали животных с рогами, которые получали высокую оценку. Это свидетельствовало об уникальности популяции лося в бассейне реки Пенжина и, в частности, о мощи животных, также об их высоком репродуктивном потенциале. Однако вскоре центральная часть популяции была сильно прорежена, и к концу 1980-х годов лось, вытесняемый оттуда естественными и антропогенными факторами, заселил практически все пригодные угодья на периферии бассейна реки Пенжина. В том числе и угодья в бассейнах рек Олюторского района, впадающих в Берингово море. Дальнейшее индустриальное освоение долины неминуемо приведет к фрагментации ареала лося со всеми вытекающими из этого неблагоприятными последствиями.

Во времена Экспедиции дикие северные олени были обычной добычей охотников, и чаще всего их стреляли попутно, без специального преследования. Теперь на Камчатке уже практически уничтожена южная популяция диких северных оленей (олени остались еще в Кроноцком заповеднике). Предпринятые вдогонку катастрофе меры охраны - создание заказника «Олений дол» и запрет охоты - не спасли южную группировку диких северных оленей от уничтожения (Мосолов, 2005).

Численность снежного барана на территории Кроноцкого заповедника (с учетом некоторых сопредельных районов) оценивается на уровне 550-570 голов при плотности от 1.0 до 14.6 особей на 10 км². По сравнению с результатами предыдущих учетов (Мосолов, 1993) численность снежного барана сократилась более чем на 15% (Вяткин, Мосолов, 2006).

Киты

После прекращения китобойного промысла в Северной Пацифике в 1969 году интерес к изучению китообразных в СССР резко снизился. Постепенно прекратилось финансирование дорогостоящих исследований и к середине 1990-х годов некоторые бассейновые лаборатории закрылись.

По опросным данным (Никулин и др., 2004) за рассматриваемый период в Камчатском регионе были отмечены 2092 встречи 16739 живых китов 13 видов. Среди них зарегистрированы восемь видов усатых китов (*Mysticeti*) и пять видов зубатых (*Odontoceti*), в том числе:

- 2 встречи 2 гренландских китов (*Balaena mysticetus*),
- 4-6 японских гладких (*Eubalaena glacialis*),
- 341-678 серых (*Eschrichtius robustus*),
- 3-4 блювалов (*Balaenoptera musculus*),
- 55-112 финвалов (*Balaenoptera phisalus*),
- 11-33 сейвалов (*Balaenoptera borealis*),
- 162-360 горбачей (*Megaptera novaengliae*),
- 151-219 малых полосатиков (*Balaenoptera acutorostrata*),
- 172-254 кашалотов (*Phiseter macrocephalus*),
- 52-97 клюворылов (*Ziphius cavirostris*),
- 48-8321 белухи (*Delphinapterus leucas*),
- 751-5935 косаток (*Orcinus orca*),
- 1-2 гринд (*Globicephala macrorhynchus*)
- 339 встреч 716 китов не определенного вида.

В связи с отсутствием подобных наблюдений во времена действия зоологического отряда, сравнение численности китообразных не может быть проведено, хотя другие источники, например Крашенинников (1755), дают нам картину бывшего благополучия. Вследствие этого и исходя из опыта наблюдений за численностью других крупных животных, можно сделать заключение о снижении численности китов в прибрежных водах Камчатки.

Перелетные птицы

Как указывалось выше, в окрестностях села Ключевского В.Л. Бианки было найдено 62 вида птиц. Участники Экспедиции полагали, что это составило около 1/3 всего количества птиц, «известных с Камчатки». Теперь считается, что на Камчатке зарегистрировано около 270 видов и подвидов (Лобков, 2007). Но хотя видовое разнообразие как бы выросло за счет лучшей изученности, общая численность птичьего населения существенно упала. Тогдашнее обилие зафиксировано в отчете зоологического отряда (Шмидт, 1916) в таких фразах: «На ягоде появились тучи кроншнепов, больших и малых...» (ibid, с. 294); «Тысячные стада гоголя, чернети и крохалей поднимались» в районе Ключевского» (ibid, с. 236). Еще были возможны коллективные охоты на линных уток, одна из которых описывается так:

«В с. Ключевском на 4 августа была назначена общественная охота на уток... Охота на «ленных» (линяющих) уток каждый год организуется ... в начале августа, когда спадет вода, а «ленная» чернеть еще не в состоянии подниматься на крыльях. В охоте участвуют все желающие: мужчины, женщины, дети, приезжие из других селений; охота эта является праздником, развлечением, которого ждут, о котором потом много говорят.» (ibid, с. 225).

«Столпившиеся утки выходили на берег и бежали вдоль сетки, пока по узкому коридору не попадали в «алтарь». По команде старшего туда бежали охотники и били уток палками... Самые горячие охотники... бросались с палками в воду и там ловили ныряющих чернетей и отвертывали головы запутавшимся в «крыле» кричащим гагарам»... (ibid, с. 228).

Всего на той охоте было убито около 2000 птиц, из которых более половины были чернети, около десятка серой утки и две савки. Уже тогда можно было обратить внимание на то, что такие охоты губительны для популяции пластинчатоклювых, так как по свидетельству этого же источника, ранее убивали до 18000 птиц за одну охоту.

Поэтому надо отметить как большую заслугу камчатского руководства, общественности и сотрудников Института природопользования (позднее – филиал ТИГ ДВО РАН), прекративших нерегламентированную охоту на птиц и установивших в период с 1970 г. до начала 1990-х гг. эффективную сеть охраняемых территорий –

заповедников и заказников для охраны перелетных птиц. Многочисленные заказники располагаются на всех основных путях миграции и в местах их размножения. В настоящее время Камчатка обладает практически целостной системой территорий, взявших под охрану районы размножения, линьки, зимовки, а также места массовых концентраций во время миграции сотен тысяч водных и околоводных птиц (Герасимов, Герасимов, 2006; Герасимов и др., 2000).

Среди них наиболее значимы следующие.

Заказник «Карагинский остров» (1970 г.) - 2000 км² территории острова и 500 км² прилегающей водной акватории. Основное назначение – охрана морских колониальных и водоплавающих птиц. О его значимости свидетельствуют такие цифры: в 1960-1970-х годах в период весенней миграции через о. Карагинский и его прибрежные воды пролетало до 30 тыс. речных, до 200 тыс. нырковых уток и 10–12 тыс. крохалей. На острове гнездились более 700 тыс. пар морских колониальных птиц, 8,5–9,5 тыс. пар уток, линяли в прибрежных водах острова 18–20 тыс. гусеобразных птиц (Вяткин, 2000; Герасимов, 1979) Постановлением Российской Федерации от 13.09.94 г. № 1050 заказник включен в список водно-болотных угодий, имеющих международное значение главным образом в качестве местообитаний для водоплавающих птиц (Ramsar site).

Заказник «Река Морошечная» (1972 г.) размером 500 км², расположен в центре охотского побережья Камчатки. Весной здесь мигрирует до 500 тыс. утиных птиц, более 200 тыс. куликов, до 100 тыс. чаек и более 20 тыс. гагар. Это важнейший резерват камчатской популяции тундрового гуменника. Здесь размножается не менее 250 пар гусей. В июле озера заказника являются убежищем для тысяч линяющих гуменников таежного подвида. В 1994 г. заказник был включен в территорию Рамсарского угодья «Река Морошечная», в 1996 г. приустьевой лиман р. Морошечной стал частью (единственной от России) международной сети кулициных территорий Восточноазиатско-Австралийского пути пролета (Герасимов, Герасимов, 1999; Gerasimov, Gerasimov, 1997, 1998, 2000).

Заказник республиканского значения «Южно-Камчатский» (1982 г.) 2500 км² на крайнем юге полуострова. Включил в себя существовавший до того заказник областного назначения «Курильское озеро». Эта охраняемая территория передана в ведение Кроноцкого государственного заповедника. Территория заказника имеет важнейшее значение для мигрирующих птиц (Лобков, 2003), в том числе здесь отмечаются концентрации тысяч гуменников, летящих на зимовку с южной половины Камчатки в Японию.

Определенно долгое время охрана с помощью особоохраняемых территорий была достаточно эффективна, но в последние годы мы наблюдаем новую, более грозную волну сокращения численности перелетных птиц. Она связана с трансформацией мест зимовки перелетных птиц и прямым уничтожением птиц в отдельных странах. Эту опасность нельзя преодолеть охраной в местах размножения.

Однако и здесь мы вынуждены констатировать, что в последние годы общий кризис всех сфер хозяйствования Камчатки крайне отрицательно сказался и на сохранении зоологических заказников полуострова. В настоящее время ряд заказников практически не охраняется, на их территориях ведутся браконьерские охоты, в том числе руководителями областного масштаба. На этом фоне особенно удручающе выглядит курс областного природоохранного руководства на ликвидацию зоологических заказников Камчатки. Пока это касается «Хламовитского озера», «Реки Удочки» и «Трех вулканов».

Микроскопические исследования, начатые гидрологом В.Н. Лебедевым в 1909 г. получили свое развитие в работах отдела гидробиологии КФ ТИГ. Они обосновали необходимость внимательного изучения микроорганизмов Камчатки, прежде всего - микроорганизмов, населяющих термальные источники.

Непрерывный двухлетний подвиг участников Экспедиции

То, что в отчетах Экспедиции называлось такими безобидными словами как «экскурсия» или «поездка» сплошь и рядом были связаны с такими трудностями, которые казались непреодолимыми даже бывалым местным охотникам. Вот несколько коротких выдержек из отчета о поездке на Курильское озеро:

«В сумерках возвратилась шлюпка с известием, что лагерь пуст, каюров нет... Очевидно, камчадалы испугались опасной дороги и покинули меня, несмотря на начальственное предписание, на 200 рублей и мои просьбы... Перед нами встал призрак зимовки» (Шмидт, 1916, с. 335). Неподготовленная зимовка в то время означала неминуемую гибель от голода и холода.

«Сторожевой домик, куда нас забросили обстоятельства, построен из тесу, снаружи завален песком, на потолке тоже толстый слой песку; дом имеет одно окно и одну дверь... Жилая комната 5 аршин длины и ширины, около 2½ аршин вышины, по моему вычислению содержит около 2 ½ кубических сажен воздуха. Принимая во внимание, что нас всего семеро постоянных жильцов, из которых шестеро (кроме меня) курильщики, можно представить, каков воздух в комнате» (ibid, с. 336).

«Чтобы рассеять мрачные мысли, я пошел гулять. Кроме несущейся кругом крупы, желтой пены по морскому берегу, да засыпанного песком мертвого японца с отъеденной ногой, ничего не было видно. После прогулки дом казался более уютным...» (ibid, с. 336).

С течением времени, по мере заселения Камчатки, подвиг участников Экспедиции перешел в постоянное научное подвижничество сотрудников исследовательских учреждений, прежде всего учреждений, расположенных в Петропавловске-Камчатском. К ним относятся: КамчатНИРО, ДВО РАН (Отдел ИБМ, Филиал ТИГ, геологические подразделения Камчатского НЦ ДВО РАН), международные организации, научные отделы администраций Камчатки.

Благодаря их постоянным усилиям мы имеем полную карту вулканов Камчатки, представления о динамике рыбных запасов окружающей акватории, ими определены природоохранные приоритеты, сохранены для науки и хозяйства такие ценные виды, как камчатский соболь, камчатский краб, а некоторые, как канадская казарка, реинтродуцированы.

Их работа всегда была связана с огромностью территории, трудностями передвижениями, непредсказуемостью погоды, постоянным риском, но они в значительной мере выполнили свои задачи, и мы должны оценить их вклад по достоинству и в первую очередь – дать им возможность продолжить свои исследования.

Список литературы

Архипова Е.А. Состояние поселений мидии *Mytilus trossulus* на шельфе Восточной Камчатки // Сохранение биоразнообразия Камчатки и прилегающих морей: Материалы VI научной конференции. Петропавловск-Камчатский: Изд-во «Камчатпресс», 2005. С. 154-157.

Архипова Е.А., Владимирова О.А. Численность и биомасса иглокожих в Кроноцком заливе (Восточная Камчатка) // Сохранение биоразнообразия Камчатки и прилегающих морей: Материалы VIII международной научной конференции, посвященной 275-летию с начала Второй Камчатской экспедиции (1732–1733 гг.). Петропавловск-Камчатский: Изд-во «Камчатпресс», 2007. С. 238-242.

Бахарев С.А. К вопросу о подходе в управлении биоресурсами континентального шельфа // Сохранение биоразнообразия Камчатки и прилегающих морей: Материалы VI научной конференции. Петропавловск-Камчатский: Изд-во «Камчатпресс», 2005. С. 96-98.

Бугаев В.Ф., Вронский Б.Б. Амурский сазан *Cyprinus carpio haematopterus* р. Камчатки // Сохранение биоразнообразия Камчатки и прилегающих морей: Материалы VI научной конференции. Петропавловск-Камчатский: Изд-во «Камчатпресс», 2005. С. 30-36.

Вяткин П.С. Кадастр гнездовий колониальных морских птиц Корякского нагорья и восточного побережья Камчатки // Биология и охрана птиц Камчатки. М., 2000. Вып. 2. С.7–15.

Вяткин П.С., Мосолов В.И. Численность и распределение снежного барана на территории Кроноцкого государственного биосферного заповедника // Сохранение биоразнообразия Камчатки и прилегающих морей: Материалы VII международной научной конференции, посвященной 25-летию организации Камч. отд. Института биологии моря. Петропавловск-Камчатский: Изд-во «Камчатпресс», 2006. С. 321-324.

Герасимов Ю.Н., Герасимов Н.Н. Важнейшие вводно-болотные угодья Камчатки (кадастр) // Биология и охрана птиц Камчатки. М. Вып.1. С.37–46.

Герасимов Н.Н., Герасимов Ю.Н. Заказники Камчатки как система охраны водных и водно-болотных птиц // Сохранение биоразнообразия Камчатки и прилегающих морей: Материалы VII международной научной конференции, посвященной 25-летию организации Камч. отд. Института биологии моря. Петропавловск-Камчатский: Изд-во «Камчатпресс», 2006. С. 180-183.

Герасимов Ю.Н., Герасимов Н.Н., Вяткин П.С. Кадастр ключевых орнитологических территорий Камчатки // Сохранение биоразнообразия Камчатки и прилегающих морей: Материалы региональной научной конференции. Петропавловск-Камчатский, 2000. С. 19-22.

Гордиенко В.Н., Гордиенко Т.А. О взаимоотношениях бурого медведя и человека на Камчатке // Сохранение биоразнообразия Камчатки и прилегающих морей: Доклады VI научной конференции. Петропавловск-Камчатский: Изд-во «Камчатпресс», 2006. С. 43-57.

Гордиенко В.Н., Гордиенко Т.А. Предварительные результаты авиаучетов численности бурых медведей в Южно-Камчатском федеральном заказнике (ЮКЗ) // Сохранение биоразнообразия Камчатки и прилегающих морей: Материалы III научной конференции. Петропавловск-Камчатский: Изд-во КамчатНИРО, 2002. С. 248-251.

Джикия Е.Л., Чудакова Д.А., Гольцман М.Е. и др. Генетический полиморфизм в Командорских популяциях песца // Сохранение биоразнообразия Камчатки и прилегающих морей: Материалы VII международной научной конференции, посвященной 25-летию организации Камч. отд. Института биологии моря. Петропавловск-Камчатский: Изд-во «Камчатпресс», 2006. С. 329-331.

Дитмар К. Поездки и пребывание на Камчатке в 1851–1855 гг. // Исторический отчет по путевым дневникам. — СПб.: Академия наук, 1901. Ч. 1. – 756 с.

Дубинин Е.А., Валенцев А.С. К изменчивости камчатского соболя // Сохранение биоразнообразия Камчатки и прилегающих морей: Материалы III научной конференции. Петропавловск-Камчатский: Изд-во КамчатНИРО, 2002. С. 36-39.

Запорожец Г.В. Становление лососеводства на российском Дальнем востоке // Современные проблемы лососевых рыбоводных заводов Дальнего Востока: Материалы VII научной конференции «Сохранение биоразнообразия Камчатки и прилегающих морей». Петропавловск-Камчатский: Камчатский печатный двор, 2006. С. 7-11.

Иванов П.Ю. Современное состояние запасов и распределение крабов-стригунов в Олюторском заливе (Берингово море) // Сохранение биоразнообразия Камчатки и прилегающих морей: Материалы VIII международной научной конференции, посвященной 275-летию с начала Второй Камчатской экспедиции (1732–1733 гг.). Петропавловск-Камчатский: Изд-во «Камчатпресс», 2007. С. 256-258.

Карасёв А.Н. Проблемы прогнозирования величины запасов краба-стригуна *Chionoecetes opilio* (O. Fabricius) на основе данных ловушечных съемок // Сохранение биоразнообразия Камчатки и прилегающих морей: Материалы V научной конференции. Петропавловск-Камчатский: Изд-во «Камчатпресс», 2004. С. 219-222.

Крашенинников С. Описание земли Камчатки в 2-х томах / СПб.: Императорская академия наук, 1755.

Ксенофонов М.Ю., Гольденберг И.А. Экономика лососевого хозяйства Камчатки. Проект ПРООН/ГЭФ. Москва - Петропавловск-Камчатский, 2008.

Лобков Е.Г. Осенняя миграция водных и околоводных птиц на мысе Лопатка // Биология и охрана птиц Камчатки. М., 2003. Вып. 5. С.27–54.

Мосолов В.И. Дикий северный олень Камчатки: оценка современного состояния популяций и перспективы сохранения вида на полуострове // Сохранение биоразнообразия Камчатки и прилегающих морей: Доклады V научной конференции. Петропавловск-Камчатский: Изд-во «Камчатпресс», 2005. С. 62-69.

Мосолов В.И. Размещение, численность и некоторые особенности экологии снежного барана на Восточной Камчатке // Фауна и экология промысловых зверей Северо-Востока Сибири. Владивосток: Дальнаука, 1993. С.23-41.

Никулин В.С., Бурдин А.М., Бурканов В.Н. и др. Наблюдения за крупными китообразными в Камчатском регионе (1994-2003 гг.) // Сохранение биоразнообразия Камчатки и прилегающих морей: Материалы V научной конференции. Петропавловск-Камчатский: Издательство «Камчатпресс», 2004. С. 226-229.

Сметанин А.Н. Пресноводные и морские животные Камчатки. Рыбы, крабы, моллюски, иглокожие, морские млекопитающие. СПб: Политехника, 2002. 237 с.

Смирнов Б.П., Леман В.Н., Шульгин Е.В. Заводское воспроизводство тихоокеанских лососей в России: современное состояние, проблемы и перспективы // Современные проблемы лососевых рыбоводных заводов Дальнего Востока: Материалы международного научного семинара, состоявшегося в г. Петропавловске-Камчатском 30 ноября – 1 декабря 2006 г. в рамках VII научной конференции «Сохранение биоразнообразия Камчатки и прилегающих морей». Петропавловск-Камчатский: Камчатский печатный двор, 2006. С. 12-20.

Стеллер Г.-В. Описание земли Камчатки / Пер. Г. Г. Генкель, А. Горлин. Петропавловск-Камчатский: Кн. изд-во КПД, 1996. - 288 с.

Трофимов И.К. К вопросу о причинах формообразования тихоокеанской сельди *Clupea pallasii*, обитающей у берегов Камчатки (гипотезы) // Сохранение биоразнообразия Камчатки и прилегающих морей: Доклады III научной конференции. Петропавловск-Камчатский: Изд-во КамчатНИРО, 2003. С. 130-134

Филь В.И. К акклиматизации лоса на Камчатке // Сохранение биоразнообразия Камчатки и прилегающих морей: Материалы IV научной конференции. Петропавловск-Камчатский: Изд-во КамчатНИРО, 2003. С. 112-117.

Шмидт П.Ю. Работы Зоологического отдела на Камчатке в 1908— 1909 гг., М., 1916 (Камчатская экспедиция Федора Павловича Рябушинского... Русского Географич. об-ва. Зоологич. отдел, вып. 1).

Steller G.W. Beschreibung von dem Lande Kamtschatka dessen Einwohnern, deren Sitten, Nahmen, Lebensart und verschiedenen Gewohnheiten herausgegeben von J.B.S. mit vielen Kupfern. Frankfurt und Leipzig bey Johann Georg Fleischer, 1774.

СТОЛЕТИЙ ЮБИЛЕЙ КАМЧАТСКОЙ ЭКСПЕДИЦИИ РУССКОГО ГЕОГРАФИЧЕСКОГО ОБЩЕСТВА (ЭКСПЕДИЦИИ РЯБУШИНСКОГО, 1908-1910 гг.)

Зайцева Н.А.¹, Котляков В.М.²

¹Отделение наук о Земле РАН, Москва; e-mail: ninaz@ras.ru

²Институт географии РАН, Москва; e-mail: direct@igras.geonet.ru

Камчатка – далекий российский край на северо-востоке нашей Родины, на протяжении нескольких столетий была синонимом далекой непознанной и экзотической территории. Нельзя сказать, что до экспедиции Русского географического общества (РГО) 1908-1910 гг. эта территория была неизвестна. В истории были первая и вторая Камчатские экспедиции (XVII-XVIII вв.), о Камчатке писал путешественник и натуралист Георг Стеллер (Стеллер, 1992), адъютант Петербургской Академии наук, участник 2-й экспедиции (1733-43 гг.). С исследованием Камчатки связано имя другого участника 2-й экспедиции – известного русского путешественника и географа Степана Крашенинникова (1711-1755), который составил первое описание этой земли (Крашенинников, 1755а, 1755б). И, тем не менее, сведения об этой земле были отрывочными и несистематизированными вплоть до начала XX столетия. И мы в наше время отмечаем столетие Камчатской экспедиции именно потому, что это была первая большая и комплексная экспедиция, давшая колоссальное количество новой научной информации об этом крае, значение которой не утрачено и сейчас, особенно в связи с современными проблемами глобальных изменений.

Экспедиция эта справедливо носит имя Русского географического общества, которое внесло большой вклад в ее успешное осуществление, и одновременно имя Федора Рябушинского – русского мецената, финансовая помощь которого сделала возможным проведение этой экспедиции (Известия..., 1910).

География в России была в почете еще со времен Петра Первого. Первые русские географы – Я.В. Брюс, И.К. Кирилов, В.Н. Татищев – были государственными деятелями, а первая русская географическая экспедиция была организована самим Петром.

Первый опыт по созданию национальных географических организаций появился в Европе в первой трети XIX в.: в 1821 г. возникло Парижское географическое общество, в 1828 г. – Берлинское, в 1830 г. – Королевское географическое общество в Лондоне, в 1833 г. – Мексиканское. Весной 1845 г. адмирал Ф.П. Литке – исследователь Новой Земли и начальник кругосветной экспедиции 1826–1829 гг. разработал проект устава Русского географического общества, который оказался таким удачным, что просуществовал более 100 лет – до 1948 г. (Временный Устав..., 1845).

В числе учредителей Русского географического общества были неугомонные путешественники, отважные моряки, известные литераторы, государственные деятели (рис. 1). При активном участии знаменитого В.И. Даля, который служил чиновником для особых поручений у министра внутренних дел, была составлена докладная записка на высочайшее имя и собрана папка документов. Император Николай I проглядел все представленные бумаги, исключил из названия слово «статистика» и передал «дело» в кабинет министров, где оно было одобрено, и после этого 6 августа 1845 г. государь наложил высочайшее повеление «Быть по сему». РГО стало первым и, соответственно, в настоящее время является старейшим научным обществом России.

В уставе РГО 1849 г. было записано, что «если особа императорской фамилии удостоит Общество принятием на себя звания председателя» (так оно и было в действительности), Общество избирает из своих действительных членов вице-председателя (Временный Устав..., 1845). Председателем Общества согласился быть

великий князь Константин Николаевич, второй сын Николая I, воспитателем которого был русский мореплаватель и географ Ф.П. Литке (1797-1882). После его смерти председателем Общества, вплоть до 1917 г., был великий князь Николай Михайлович.

Фактическими руководителями Русского географического общества были его вице-председатели: в 1845–1850 и 1857–1873 гг. Ф.П. Литке, а в 1850–1857 и 1873–1914 гг. П.П. Семенов, получивший впоследствии к своей фамилии прибавление Тянь-Шанский (1827-1914). Общество быстро охватило своими подразделениями всю Россию. В 1851 г. открылись два первых региональных отдела – Кавказский (в Тифлисе) и Сибирский (в Иркутске). Затем были открыты отделы: Оренбургский и Северо-Западный (в Вильно), Юго-Западный (в Киеве), Западно-Сибирский (в Омске), Приамурский (в Хабаровске), Туркестанский (в Ташкенте). Впоследствии региональное подразделение РГО было создано и на Камчатке.



Рис. 1. Члены учредители Русского географического общества. Левая группа, слева направо и сверху вниз: астроном Василий Яковлевич Струве (1793–1864), адмирал Иван Федорович Крузенштерн (1770–1846), адмирал Фердинанд Петрович Врангель (1795–1870), академик Карл Максимович Бэр 1792–1876), геолог Григорий Петрович Гельмерсен (1803–1885), академик Петр Иванович Кеппен (1793–1864), адмирал Петр Иванович Рикорд (1797–1855). Правая группа, слева направо и сверху вниз: литератор и музыковед Владимир Федорович Одоевский (1803–1869), государственный деятель Алексей Ираклиевич Левшин (1799–1879), академик Константин Иванович Арсеньев (1789–1865), писатель и этнограф Владимир Иванович Даль (1801–1872), путешественник Платон Александрович Чихачев (1812–1892), геодезист Михаил Павлович Вронченко (1801–1852), генерал-фельдмаршал Федор Федорович Берг (1793–1874).

Многолетняя деятельность П.П. Семенова-Тянь-Шанского на посту вице-председателя Географического общества увенчалась постройкой в 1908 г. собственного здания Общества в переулке Гривцова (Демидова), где и сейчас размещаются руководство и секретариат Общества, замечательная библиотека и архив.

П.П. Семенов-Тянь-Шанский скончался в 1914 г., и пост вице-председателя Географического общества занял Ю.М. Шокальский, оставшийся в этой должности и после смены государственной власти в 1917 г. После его кончины в 1931 г. председателем Общества был избран Н.И. Вавилов, возглавлявший его вплоть до ареста в 1940 г.

Последующими председателями Географического общества были академики ихтиолог и физикогеограф Л.С. Берг (1940–1952), создатель учения о природной очаговой заболеваемости, биолог и биогеограф Е.Н. Павловский (1952–1964), физико-географ и гляциолог С.В. Калесник (1964–1978), океанолог и полярник А.Ф. Трешников (1978–1991). В истории Общества известны и почетные президенты: ими были академики Ю.М. Шокальский, В.Л. Комаров, В.А. Обручев.

Русское географическое общество изначально имело тесные связи с Академией наук. Ф.П. Литке говорил, что «Академия не имела возможности сделать для географии всего – можно было бы сделать более – и это-то более есть задача Русского географического общества». И он же подчеркивал: «Географическое общество, совершенно самостоятельное, есть как бы распространение Академии для некоторой специальной цели». В 1938 г. эти связи были оформлены официально. Сейчас в Российской Федерации функционирует около 30 научных обществ, и РГО среди них по численности занимает первое место.

Экспедиционная деятельность Географического общества была необыкновенно плодотворной и создала ему неповторимый облик. В мировую сокровищницу имен путешественников и исследователей вошли деятели РГО: Н.А. Северцов, И.В. Мушкетов, П.А. Кропоткин, И.Д. Черский, Н.М. Пржевальский, Г.Н. Потанин, М.В. Певцов, Г.Е. Грум-Гржимайло, В.А. Обручев, П.К. Козлов, Н.Н. Миклухо-Маклай, А.И. Воейков, Ю.М. Шокальский и многие другие. Экспедиции РГО снаряжались на государственные, в том числе и академические, средства. Пожалуй, лишь одна экспедиция – в 1908 г. на Камчатку – была организована с использованием средств Ф.П. Рябушинского (Известия ..., 1910).

Исследования Камчатки были начаты еще в первой половине XVIII в. Особенно велик был вклад С.П. Крашенинникова, члена Петербургской Академии наук. Он принял участие во 2-й Камчатской экспедиции (1733-1743 гг.), составил первое «Описание земли Камчатки» в двух томах (1756) (Крашенинников, 1755а, 1755б). В 1737 г. Крашенинников был, вероятно, первым ученым свидетелем извержения Авачинского вулкана.

В Русском географическом обществе давно существовал проект экспедиции на Камчатку. В самом начале деятельности РГО, в 1850-1854 гг. этот проект выдвинул Ф.П. Литке, в 1877 г. его попытался реализовать польский естествоиспытатель Б.И. Дыбовский, в 1903 г. В.Л. Комаров вносил предложение о подобной экспедиции, но воплощение этих проектов сдерживало отсутствие достаточного количества средств. В



Рис. 2. Ф.П. Рябушинский

1908 г. знаменитый меценат, член известной семьи предпринимателей Федор Павлович Рябушинский (рис. 2), при содействии Географического общества организовал Камчатскую комплексную экспедицию, которая должна была изучить и обследовать флору и фауну Камчатского полуострова, главным образом в районе вулканов. Впоследствии в ознаменование его заслуг Камчатская экспедиция РГО 1908-1910 гг. получила название «экспедиция Рябушинского» (Известия..., 1910).

В 1906 г. совсем молодой Ф.П. Рябушинский, прослушав курс лекций по географии, загорелся страстным желанием побывать на Камчатке. Он был поражен, как мало она изучена. Мысль об организации Камчатской экспедиции всецело овладела Федором Павловичем, и он деятельно стал готовиться к ее осуществлению.

Одно время он совсем уже решился сам совершить рекогносцировочную поездку на Камчатку, но быстро развивавшийся туберкулез легких помешал осуществить эти планы. Тогда он обратился к главе РГО П.П. Семенову, и к обоюдному согласию сторон задуманная Рябушинским экспедиция на Камчатку состоялась. На Камчатскую экспедицию Ф.П. Рябушинский пожертвовал 200 000 руб. В 1910 г. Ф.П. Рябушинский скончался от скоротечной чахотки, завещав родственникам довести дело до конца. Благодаря этому на Камчатку была отправлена действительно комплексная, хорошо подготовленная научная экспедиция. Она была одной из самых эффективных по собранному научному материалу после продолжительного застоя в исследованиях Камчатки (Известия..., 1909, 1911).

Руководителем экспедиции был ботаник Владимир Леонтьевич Комаров (1869-1945), в будущем президент АН СССР (1936-1945). Экспедиция состояла из шести самостоятельных отрядов (отделов): геологического, метеорологического, ботанического, который возглавил В.Л. Комаров, зоологического и гидрологического и этнографического (Комаров, 1927).

Геологический отдел (руководители С.А. Конради и Н.Г. Келль) за три полевых сезона с 1908 по 1910 гг. провел всестороннее комплексное физико-географическое и геологическое обследование юга Камчатки от Петропавловска до мыса Лопатка, районов вулканов Шивелуч и Ключевской в центральной части полуострова, заливов Карагинского и Корфа. Следует отметить, что до этой экспедиции в южную часть п-ва Камчатка со времен Стеллера никто из европейцев не проникал. Метеорологический отдел (рук. В.А. Власов) помимо полевых исследований организовал пять постоянно действующих метеостанций – в г. Петропавловске, селах Ключи, Мильково, Тигиль и Большерецк. Результатом работ ботанического отдела стал монументальный трехтомный труд В.Л. Комарова «Флора Камчатки» (Известия ..., 1925, Комаров, 1927, 1929, 1930). Итоги работ зоологического (В.Н. Лебедев) и гидрологического отделов заслушивались на заседаниях Географического общества и были опубликованы в его отчетах (Лебедев, 1915). Материалы исследований этнографического отдела были изданы позже в книгах об ительменах и коряках.

Многие научные сведения были получены впервые:

- сверх стандартных метеорологических наблюдений проведены наблюдения над температурой почвы (на нескольких уровнях до глубины 3 м) и воды в реках, озерах, горячих источниках и Авачинской бухте;
- организованы измерения температуры более глубоких слоев грунта и определена глубина залегания вечной мерзлоты;
- выявлены значительные различия в климатических условиях приморских и горных областей полуострова;
- вычислены географические координаты нескольких вулканов и составлена карта вулканов Камчатки;
- впервые сделан вывод о том, что для получения достоверных сведений о питающем вулкан магматическом очаге необходимы данные о форме, размерах и распределении вулканических гор. Другими словами, для решения наиболее важных вопросов о сущности вулканизма в первую очередь важны топографические и морфологические исследования вулканических областей;
- обнаружены и описаны новые, ранее неизвестные виды растений и животных;
- получены сведения об истории, антропологии, этнологии и социологии алеутов и камчадалов;
- сделаны важные рекомендации в отношении дальнейших исследований и возможностей использования природных богатств Камчатки.

Отважные российские естествоиспытатели работали в тяжелейших условиях: незнакомые условия, чрезвычайно изменчивая погода, трудности с перевозками

оборудования и др. (рис. 3), но они очень много сделали для того, чтобы на земле Камчатки осталось как можно меньше «белых пятен». Великое мужество и самоотречение были свойственны всем им без исключения.



Рис. 3. Участники геологического отдела Камчатской экспедиции

Материалы, собранные экспедицией, сохранились в фондах В.Л. Комарова и П.Ю. Шмидта, в архиве Русского географического общества в Санкт-Петербурге. Огромное количество (около 2000) фотографических негативов и диапозитивов, отображающих географию, геологию, быт и антропологию аборигенов, зоологию и ботанику Камчатки, также хранятся в архиве РГО, в коллекции «Диапозитивы и негативы по экспедициям, действовавшим в ГО 1873-1957 гг.». Интересен и такой факт. В архиве РГО хранятся документы «судебного дела по поводу растраты капитаном II ранга Кузьминым-Караваевым, бывшим командиром крейсера «Колыма» денег, отпущенных Иохельсону». Из переданных 15140 рублей для нужд этнографического отдела экспедиции Кузьмин-Караваев отдал Иохельсону только 7500. Дело слушалось в военно-морском суде г. Владивостока, который приговорил Караваева к двум с половиной годам заключения в крепости. В то же время из дневников участников экспедиции мы узнаем о других примерах: о помощи Министерства путей сообщения, которое без особой дополнительной оплаты предоставило вагон для доставки во Владивосток ртутных барометров и хронометров; о помощи местной администрации (Переселенческое Управление) в размещении грузов и строительстве метеостанций; о помощи местного рыбопромышленника Х. Бирича, который перевозил участников экспедиции на своих судах, и др.

Комплексная экспедиция Русского географического общества с 1908 по 1910 гг. на Камчатку получила широкий отклик в мировой прессе. Печатались письма участников событий, их очерки, фотографии, краткие каталоги отделов. В 1910-1913 гг. этой экспедиции были посвящены статьи во многих российских газетах и журналах. Интерес к экспедиции возобновился, когда Русское географическое общество устроило в декабре 1912 г. в особняке общества выставку по материалам Камчатской экспедиции. Спустя три недели П.П. Семенов-Тянь-Шанский получил из Зимнего

Дворца подарок – «брошь-кулон с изображением государственного герба, украшенного сапфиром и бриллиантами и удостоверения на этот подарок ВСЕМИЛОСТИВЕЙШЕ пожалованный вдове почетного потомственного гражданина Татиане Константиновне Рябушинской».

В связи с этим уместно вспомнить еще об одной подробности. Русское географическое общество сразу по окончании экспедиции планировало издать шесть томов научных трудов (по количеству отделов). Поскольку финансирование экспедиции производилось частным лицом, то необходимо было урегулировать отношения с наследниками мецената, коим являлась его вдова Т.К. Рябушинская. 18 октября 1910 г. она категорично заявила о том, что заниматься изданием трудов экспедиции будет сама. Развернулась тяжба, о чем свидетельствует ее переписка с П.Ю. Шмидтом. Судя по тому, что результаты экспедиции были опубликованы как научные труды (Шмидт, 1916) только в советское время (в 1928-1930 гг.), да и то не все, можно заключить, что наследница настояла на своих условиях.

По этой причине, материалы экспедиции публиковались ее участниками индивидуально, и оказалось так, что они сейчас разрознены. Часть так и не увидела свет, особенно пострадали материалы этнографического отряда. Затерялись две части полного отчета о топографических работах Геологического отряда. Часть материалов после революции оказалась за границей (в частности, в США в Фонде Карнеги) и некоторые интересные статьи впоследствии переводились на русский язык. Однако, еще много интересных материалов находится в архивах (Приложение 1). Со своей стороны, Русское географическое общество отметило память Ф.П. Рябушинского большой статьей об экспедиции с подробным описанием его заслуг (Известия..., 1910).

За прошедшие 100 лет природа Камчатки исследовалась очень широко, но главное внимание специалистов АН СССР было обращено, естественно, на вулканическую деятельность. В 1935 г. по инициативе академика Ф.Ю. Левинсона-Лессинга у подножия Ключевской сопки Академией наук была основана вулканологическая станция, работающая и по сей день. Была организована хорошо оснащенная и регулярно действующая сеть гидрометеорологических и аэрологических станций, Сахалинское региональное управление по гидрометеорологии и контролю природной среды в свое время было одним из лучших в СССР. Здесь уместно упомянуть о том, что в советское время научные исследования имели хорошую государственную поддержку, благодаря чему появлялись новые интересные результаты. В настоящее время ученые здесь занимаются изучением связей между вулканизмом и сейсмичностью, тектоникой и современным рудообразованием. Эти исследования должны вылиться в создание геодинамической модели переходной зоны от Азиатского континента к Тихому океану, где современные геологические процессы проявляются наиболее ярко.

В составе Дальневосточного отделения РАН на Камчатке успешно работает Институт вулканологии и сейсмологии, активно действует Камчатский отдел Русского географического общества.

Список литературы

Временный устав Русского географического общества (брошюра). С.-Петербург: Типография экспедиции Заготовления Государственных бумаг, 1845. 22 с.

Известия Императорского Русского географического общества. 1909. Т. XLVI. Вып. IV- VI. 494 с.

Известия Императорского Русского географического общества. 1910. Т. 46. Вып. VIII-X. 395 с.

Известия Императорского Русского географического общества. 1911. Т. 47. Вып. I-V. 494 с.

Известия Государственного Русского географического общества / Под ред. В.Л. Комарова. Л.-М. Главное управление научными учреждениями (ГЛАВНАУКА), 1925, Т. LVII. Вып. 1. 180 с.

Кель Н. Карта вулканов Камчатки // Тихоокеанский комитет Академии наук СССР и Государственного русского географического общества, Л.: Издание РГО, 1928. 91 с.

Комаров В.Л. Флора полуострова Камчатки. Л.: Изд-вл Академии Наук Союза Советских социалистических республик, 1927. Т. 1. 338 с.

Комаров В.Л. Флора полуострова Камчатки. Л.: Изд-вл Академии Наук Союза Советских социалистических республик, 1929. Т. 2. 355 с.

Комаров В.Л. Флора полуострова Камчатки. Л.: Изд-вл Академии Наук Союза Советских социалистических республик, 1930. Т.3. 209 с.

Крашенинников С.П. «Описание земли Камчатки, сочиненное Степаном Крашенинниковым, Академии Наук Профессором», С.-Петербург: Тип. При Императорской Академии Наук, 1755а. Т. 1. 438 с.

Крашенинников С.П. «Описание земли Камчатки, сочиненное Степаном Крашенинниковым, Академии Наук Профессором», С.-Петербург: Тип. При Императорской Академии Наук, 1755б. Т. 2. 319 с.

Лебедев В.Н. Воды юго-восточной Камчатки, ч.1 (1915). Озера. (Отдельный оттиск их II-го тома Трудов Зоологич. Отдела Камчатской экспедиции Ф.П. Рябушинского, снаряженной при содействии Императорского Русского Географического общества), Москва, Типография т-ва Рябушинских, 1915. 312 с., 10 л. карт.

Стеллер Г.В. «Описание плаваний из Петропавловска на Камчатку к западному побережью Америки, а также происшествий, имевших место на обратном пути» // в книге «Последняя экспедиция Беринга», М., АО «Изд. группа «Прогресс» Пангея, 1992. 192 с.

Шмидт П.Ю. Камчатская экспедиция Федора Павловича Рябушинского // Зоологический отдел. Москва: Типография Т-ва Рябушинского, 1916. Вып. 1. 432 с.

Приложение 1

Архивные материалы по Камчатской экспедиции Рябушинского:

Архив РАН:

Фонд 817 «Архив Шмидта П.Ю.»

Архив РГО:

1. Фонд 117 оп. 1 «Конради С.А. 1880-1942 гг.»
Оп. 1/І, №6 «Полевые работы на Камчатке. б.д., 1368 л.
Оп. 1/ІІ, Биографические материалы и фотографии.
Оп. 1/ ІІІ, Материалы других лиц (в т.ч. «Полевой дневник на Камчатку 1908-1910 гг.», 300 стр.)
2. Фонд 92 оп. 1 « Шмидт П.Ю.»
3. Фонд 73. «Комаров В.Л.» (в т.ч. отдельная коллекция «Экспедиция Рябушинского 1908 -1910»).
4. Коллекция «Материалы экспедиций и путешествий действительных членов ГО по России и зарубежным странам 1841-1914 гг.»
5. Коллекция «Диапозитивы и негативы по экспедициям, действовавшим в ГО 1873 – 1957 гг.»
6. Фонд «Канцелярия ГО» № 1-1906. оп.1, д. 3 «О работе комиссии по организации экспедиции на Камчатку» (в т.ч. письма Рябушинского, Семенова-Тян-Шанского, и др) .
7. Фонд 93 «Фотографии Камчатской экспедиции».

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ И ПЛАНИРОВАНИЕ СЕЙСМОЛОГИЧЕСКОЙ СЕТИ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ВУЛКАНИЧЕСКОГО ДРОЖАНИЯ НА КАМЧАТСКИХ ВУЛКАНАХ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ИХ МАГМАТИЧЕСКОЙ, ВУЛКАНИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ И ПРОГНОЗА ИЗВЕРЖЕНИЙ

Иванов В.В.

*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский;
e-mail: victor@kscnet.ru*

Введение

Вулканическое дрожание (ВД) представляет собой продолжительные (длительностью от нескольких минут до нескольких месяцев) колебания с частотами примерно от 0.1 до 10 Гц, источник которых находится в магматической питающей системе вулкана (Токарев, 1981; Cosentino et al., 1982; Koyanagi et al., 1987; McNutt, 1985).

Согласно устному сообщению Р. Койанаги (Токарев, 1981), на Гавайских вулканах около 90% длительности регистрировавшегося ВД приходится на период извержений вулканов и только 10% - на период покоя. В 99% случаев оно имеет близповерхностный очаг и в 1% случаев источник находится на глубинах 30-40 км. На Ключевском вулкане (Камчатка) ВД обычно сопровождает вершинные и побочные извержения, но нередко отмечается и во время спокойного состояния вулкана (Иванов, 2008). Слежение за параметрами вулканического дрожания имеет важное значение для контроля вулканической активности и для прогнозирования времени и места вулканических извержений и их опасных взрывных фаз (Иванов, 1988, 2003, 2008; Широков, 1985).

Определение распределения источников ВД по глубине представляет интерес в связи с проблемой изучения магматических процессов и самого процесса вулканического извержения (Chouet, 1996; Chouet et al., 1998). Определение положения источников ВД в плане важно для крупных вулканических центров, в которых современные извержения происходят как в вершинном кратере вулкана, так и в пределах его протяженных (10-20 км) зон шлаковых конусов (рифтовых зон) (Фарберов, Гаретовская, 1978; Koyanagi et al., 1987). Недавний пример - вулкан Горелый (Южная Камчатка), на котором в 2008 г. постоянно наблюдается вулканическое дрожание. Это происходит при отсутствии явных признаков вулканической активности и положение источника ВД пока неизвестно. Поэтому изучение параметров источников ВД, в особенности их глубины и положения в плане, может быть полезным как для понимания механизма магматической и вулканической деятельности, так и для прогноза извержений и слежения за их ходом.

В отличие от импульсных сейсмических сигналов (землетрясений) вулканическое дрожание, как правило, не имеет различимых вступлений волн. Поэтому для него неприменимы обычные методы определения источника генерации, основанные на измерении времен вступлений объемных волн на отдельных, разнесенных на сравнительно большие расстояния, сейсмостанциях. Стационарность характеристик вулканического дрожания, однако, делает этот тип источника идеальным для анализа, используя методы сейсмических антенн (групп) (Chouet et al., 1998).

На протяжении более чем 30 лет сейсмических наблюдений за вулканическим дрожанием на Камчатке получен обширный фактический материал. Он позволил определить положение источников ВД в плане, изучить спектральные особенности и получить первые оценки глубины источников, что имело важное научное значение (Иванов, 2008). Дальнейшее развитие исследований в этом направлении невозможно без повышения их детальности, а соответственно и точности определения местоположения источников ВД. Не следует полагать, что увеличение длины реализации ВД является панацеей, позволяющей увеличить точность. Нередко этому препятствует недостаточная продолжительность сигнала или интервала стационарности ВД. Во время взрывов вулканского типа на вулканах

Карымский, Шивелуч, Ключевской дрожание продолжается всего несколько минут и обычно представляет собой нестационарный процесс. Лучшее планирование измерительных сетей и использование адекватных моделей среды позволит повысить точность получаемых оценок и изучить имеющиеся нестационарности в сигнале, отражающие динамику развития вулканических взрывов. Эксперимент по изучению вулканического дрожания – это сложная и дорогостоящая практическая задача, к тому же повторить такой эксперимент обычно не удастся. Поэтому для вулканического дрожания анализ разрешающей способности сети и ее оптимизация имеют такое же важное значение, как и для случая землетрясений.

Вопрос оценки эффективности сейсмических антенн для изучения шумовых сигналов разработан недостаточно. В работе (Шубик, Киселевич, 1993) исследуется разрешающая способность сети для метода, основанного на оценках энергии когерентного сигнала. В работе (Chouet et al., 1998) исследуются ошибки определения положения источника ВД частотно-медленным методом. Обе эти работы основаны на моделировании измерительной информации по методу Монте-Карло, что представляется неоправданным усложнением. Более перспективным, на наш взгляд, является использование линеаризованных оценок, что приводит к простым, геометрически ясным формулам. В работе (Горицкий и др., 1990) приведены самые первые выражения для линеаризованного критерия качества определения положения источника ВД в плане для случая однородной среды и сейсмологических сетей, состоящих из профилно-угловых расстановок. В работе (Иванов, 2008) рассматривается более общий случай неоднородной среды, произвольной сейсмической антенны и определения положения источника ВД в плане и по глубине. В настоящей работе мы продолжаем апробировать эту методику на примере исследования эффективности еще двух сетей: на вулкане Ключевской (поляризационный метод) и на вулкане Карымский (для изучения источников микроземлетрясений стандартным нелинейным методом наименьших квадратов).

Целью работы является исследование разрешающей способности и планирование двух сейсмических сетей для изучения ВД и микроземлетрясений на Камчатке. Под оценкой эффективности сети нами понимается: – построение распределения в пространстве некоторого критерия качества (локального), который характеризует эффективность сети в каждой точке пространства; – нахождение минимального значения этого критерия в некоторой области, где априори может находиться источник ВД (глобальный критерий). Знание глобального критерия позволяет сравнивать между собой различные сейсмические сети.

Исследование эффективности и планирование сейсмологических сетей на вулканах Ключевской и Карымский

Методическая основа и основные вычислительные формулы для анализа разрешающей способности сети для изучения ВД приведены в работе (Иванов, 2008). Для случая сетей трехкомпонентных сейсмостанций каждая сейсмостанция заменялась эквивалентной угловой расстановкой однокомпонентных датчиков с круговой диаграммой направленности (Горицкий и др. 1990). Сеть на вулкане Карымский, которая использовалась для определения положения очагов вулканических землетрясений, анализировалась с помощью подходов, изложенных в работе (Горицкий и др., 1987). Для исследования эффективности сети использовался алгоритм перебора точек исследуемой области по сетке координат и вычисления локальных значений критерия качества. Значение критерия вычислялось в каждой точке сетки как корень квадратный из минимального собственного числа матрицы линеаризованных шкал приемников L (Горицкий и др. 1987, 1990; Иванов 2008). Предполагалось, что поверхностные или объемные волны распространяются в однородной и изотропной недиспергирующей среде с постоянной скоростью волн V . Результаты, в основном, будем приводить в терминах условного безразмерного критерия качества F_1 ,

связанного с критерием F размерности [с/км] соотношением (Горицкий и др., 1987; Иванов, 2008):

$$F_1 = V \cdot F.$$

Глобальный критерий эффективности измерительной сети:

$$F^*(\Omega) = \min_{x^0 \in \Omega} F_1^*$$

где Ω – область допустимых значений координат источника ВД, обычно известная из других данных.

Входными данными для расчетной схемы являлись: размерность пространства, число локальных угловых расстановок сейсмометров или трехкомпонентных сейсмостанций, составляющих сейсмическую сеть, скорости волн V , координаты центров расстановок, расстояние между приемниками h и шаг сетки по координатам. Для каждой точки x^0 сетки рассчитывались матрица линейаризованных шкал L и значение безразмерного критерия качества F_1 . Затем в области Ω находилось значение глобального критерия, что позволяло сравнивать между собой различные сети.

Сеть на вулкане Ключевской

На рис. 1 показаны два полигона, на которых временно проводилось изучение вулканического дрожания (микроземлетрясений) на Камчатке. Соответствующие сети показаны на рис. 2.

Сеть S_1 (рис. 2) представляла собой площадную расстановку из шести трехкомпонентных сейсмостанций, позволявшую поляризационным методом с помощью пересечения

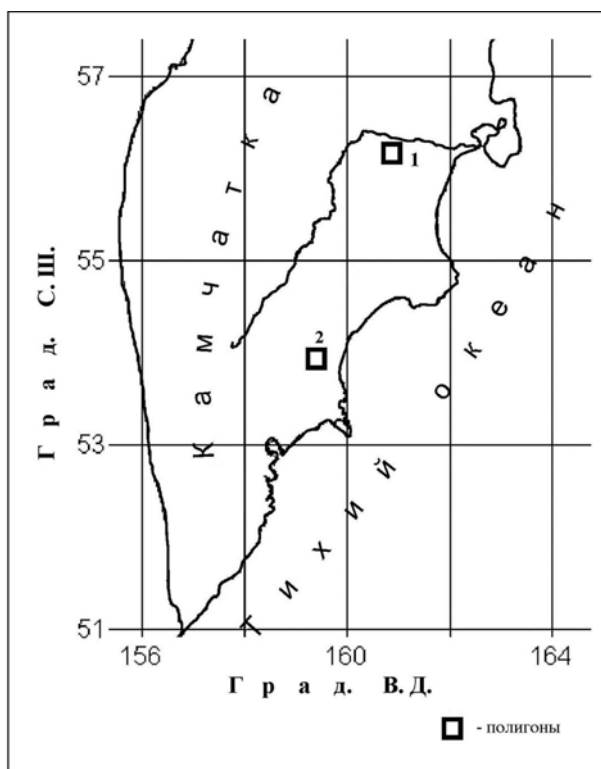


Рис. 1. Полигоны для временных наблюдений вулканического дрожания и микроземлетрясений на Камчатке: 1 – на вулкане Ключевской в июле - августе 1984 г., 2 – на вулкане Карымский в августе 1978 г. Соответствующие сейсмические сети показаны на рис. 2.

пеленгов с разных пунктов оконтуривать область генерации ВД в плане в период извержения вулкана Ключевской в июле-августе 1984 г. Там также применялись и профильные расстановки однокомпонентных сейсмометров для изучения волнового и спектрального состава ВД (Гордеев и др., 1986). Область априорного положения источника ВД в плане Ω для этой сети охватывает вершинный кратер Ключевского вулкана и все его современные побочные прорывы. Она аппроксимируется нами эллипсом с большой полуосью длиной 20 км и ориентированной в СВ направлении. Треугольниками со штрихом на рис. 2 показаны смещенные положения сейсмостанций, что отражает другую конфигурацию сети во время полевых работ. На рис. 3 изображены изолинии безразмерного критерия качества F_1 локации шумового источника ВД на вулкане Ключевском исходной сетью (S_1) и сетями, полученными из нее путем исключения и перемещения станций. Видно, что изменение конфигурации сети значительно меняет топологию изолиний критерия качества. Наиболее однородно поле критерия качества для исходной сети, которую следует признать хорошей и не требующей оптимизации.

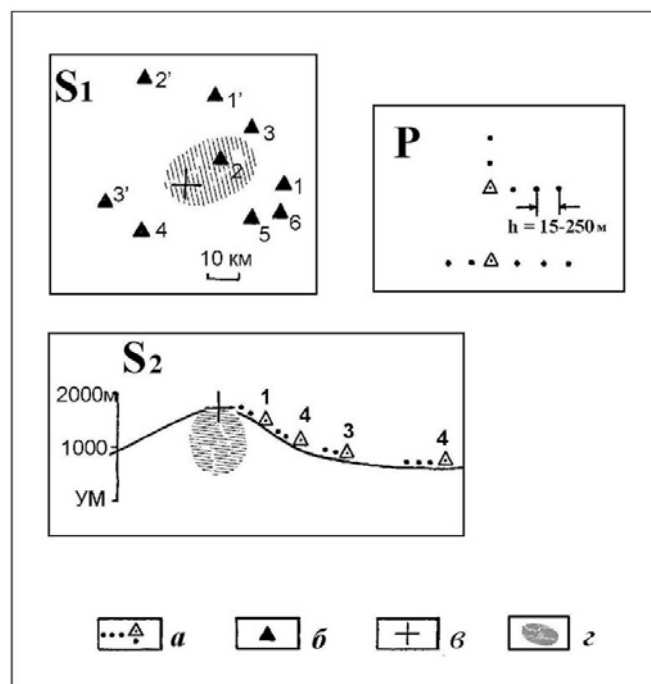


Рис. 2. Сети временных наблюдений для локации сейсмических источников на Камчатке: S_1 – на вулкане Ключевской в 1984 г.; S_2 , – на вулкане Карымский в 1983 г. S_1 была размещена в горизонтальной плоскости для планового определения положения источников дрожания, а S_2 – в вертикальной плоскости, проходящей через вершину Карымского вулкана для определения положения очагов вулканических микроземлетрясений. Обозначения: a – локальная угловая расстановка однокомпонентных сейсмометров (Р), $б$ – трехкомпонентная сейсмостанция, $в$ – положения вершинных кратеров вулканов, $г$ – область априорного положения источника дрожания Ω , УМ – уровень моря. Пояснения в тексте.

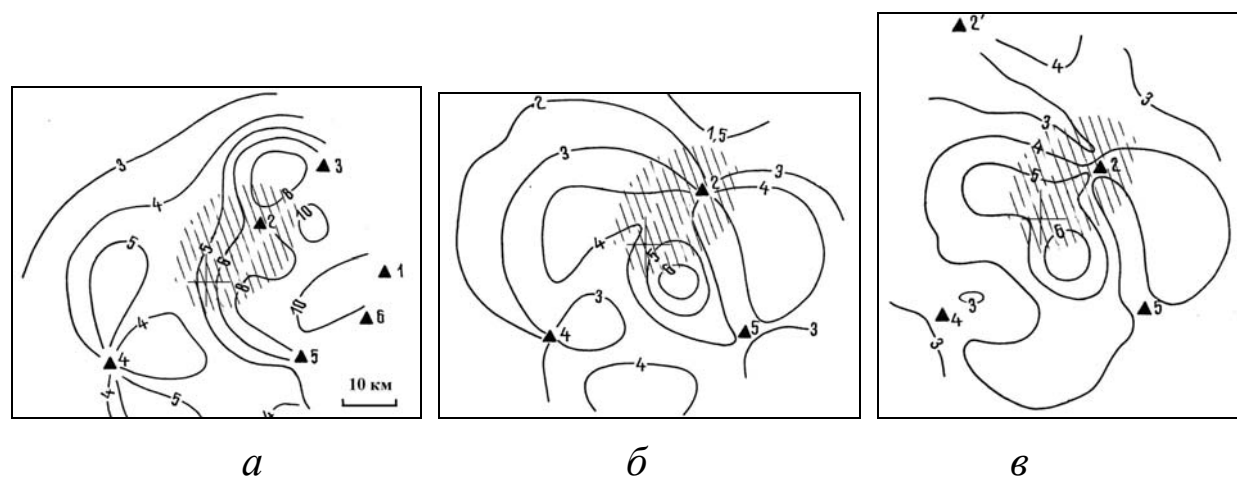


Рис. 3. Изолинии безразмерного критерия качества F_1 локации источника дрожания на вулкане Ключевской (в тысячных долях, показано в горизонтальной плоскости, аппроксимирующей поверхность Земли): a – исходная сеть (S_1) из шести трёхкомпонентных сейсмостанций; $б$ – сеть (S_1) с исключенными пунктами № 1 и № 6; $в$ – сеть (S_1) с исключенными пунктами № 1 и № 3 и дополнительным пунктом № 2. Обозначения на рис. 2.

Сеть на вулкане Карымский

Сеть S_2 использовалась на вулкане Карымский в августе 1978 г. для изучения вулканических землетрясений (Фарберов и др., 1983). Она состояла из четырех угловых расстановок однокомпонентных сейсмометров (рис.2). На вертикальной плоскости, проходящей через вершину вулкана, показаны только те элементы расстановок (Р), которые шли вниз по склону вулкана. Ортогональные плечи расстановок располагались перпендику-

лярно плоскости чертежа и не оказывали в линейном приближении влияния на расчет эффективности сети в указанной плоскости. Конфигурация области Ω выбиралась из совпадения ее с областью микроземлетрясений под Карымским вулканом, которую мы интерпретируем как магмоподводящую зону. Расстояние между сейсмометрами в расстановке (Р) выбиралось в пределах пространственного интервала корреляции сигналов от 15 до 250 м в зависимости от используемого частотного диапазона.

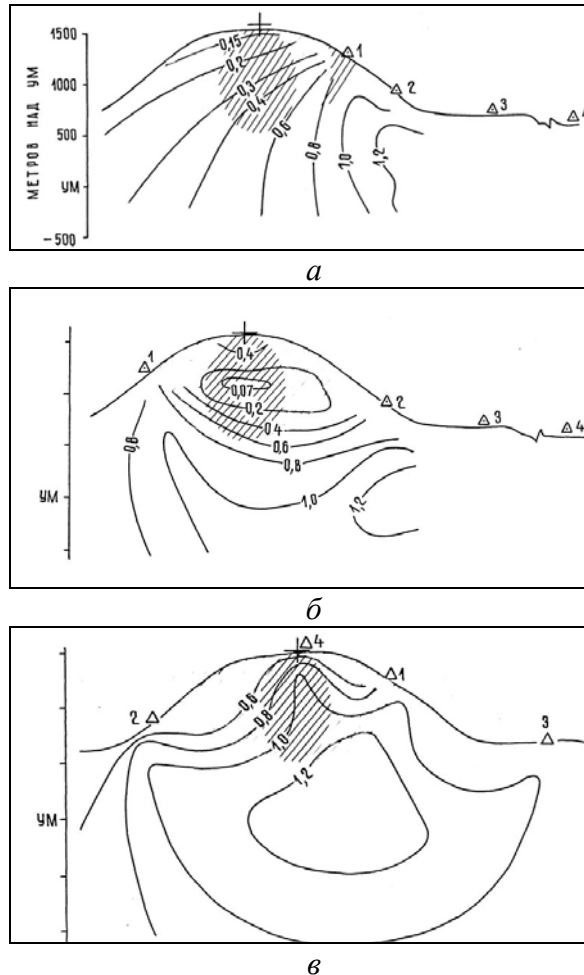


Рис. 4. Изолинии безразмерного критерия качества F_1 локаций источника микроземлетрясений на вулкане Карымский (показано в вертикальной плоскости, проходящей через вершину вулкана и через профили расстановок): *а* – исходная сеть (S_2) из 4-х профильно-угловых расстановок; *б* – сеть (S_1) со смещенным положением расстановки № 1 (плохая сеть); *в* – сеть (S_1) со смещенным положением расстановок № 2 и № 4 (хорошая сеть).

является относительно плохой. Напротив, для сети, изображенной на рис. 4в, в области Ω характерны сравнительно высокие значения критерия качества F_1 , поэтому она намного лучше двух предыдущих сетей.

В таблице приведены значения глобального безразмерного критерия качества и эффективности сети Ξ для исходной сети S_2 и для ее двух модификаций. Эффективность сети рассчитывалась как отношение ее глобального критерия к критерию для исходной сети по формуле

$$\Xi = F^*_{i1} / F^*_{1\text{исх.}}, \%$$

Изолинии критерия F_1 для исходной сети изображены на рис. 4 а). На рисунке видно, что минимальное в области Ω значение F_1 равно примерно 0.15, причем минимум располагается на малых глубинах. Глубина отсчитывается от вершины вулкана вниз. Попробуем изменить конфигурацию сети и посмотреть, нельзя ли увеличить эффективность сети в этой области. С целью получения более оптимальной сети будем осуществлять простейшие симметрические смещения угловых расстановок относительно вертикали, проходящей через вершину вулкана, не изменяя число расстановок. Исследовалась эффективность двух модификаций сети S_2 :

- с профилем № 1, смещенным симметрично относительно вершины вулкана (рис. 4б);
- с профилем № 2, смещенным симметрично относительно вершины вулкана, и профилем № 4, перенесенным на вершину вулкана (рис. 4 в).

На рис. 4б и 4в показаны изолинии безразмерного критерия качества F_1 локаций землетрясений на вулкане Карымский для указанных модификаций сети S_2 . Видно, что изменение конфигурации сети существенно меняет топологию изолиний критерия качества. Изменение F_1 как функция глубины, отсчитываемой от вершины вулкана, для сетей (рис. 4а-в) изображено на рис. 5. Для сети (рис. 4б) в области Ω имеется достаточно глубокий минимум на глубинах около 400м, поэтому такая сеть

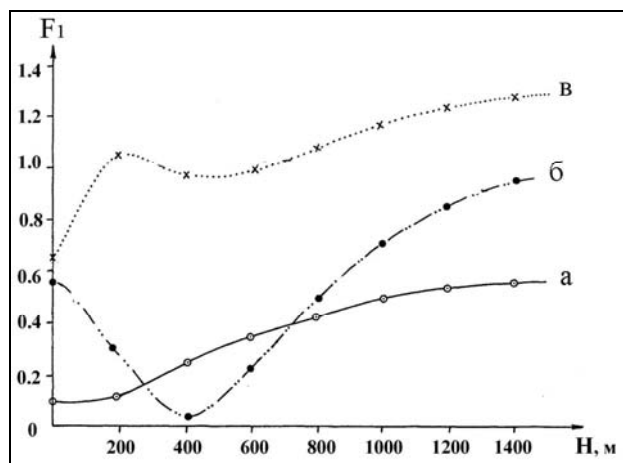


Рис. 5. Распределение безразмерного критерия качества F_1 локации источника микроземлетрясений на вулкане Карымский по глубине H для сетей, изображенных на рис.4 а-в. Функция F_1 показана на вертикальной прямой, проходящей через вершину вулкана; глубина H отсчитывается от вершины вулкана вниз.

Если исходная сеть имеет эффективность 100%, то сеть, полученная из неё симметричным смещением расстановки № 2, имеет эффективность всего 48%. То есть, неудачным смещением одной элементарной расстановки мы ухудшаем эффективность всей сети. Напротив, модификация сети (рис. 4в) имеет эффективность около 400% (таблица).

Таблица. Значения глобального безразмерного критерия качества F^*_1 и эффективности Ξ локации источника дрожания в области Ω на вулкане Карымский для исходной сети (S_2) из четырёх угловых расстановок (рис. 4а) и для двух ее модификаций (рис. 4б, 4в)

№ п/п	Измерительная сеть (рис. 4)	F^*_1 , сотые доли	$\Xi = F^*_1 / F^*_{1\text{исх.}}$, %
1	а	15	100
2	б	7	48
3	в	60	400

Таким образом, изменение конфигурации измерительной сети позволило в 4 раза увеличить ее разрешающую способность! Такая высокая эффективность сети (рис. 4в), очевидно, объясняется тем, что эта сеть имеет значительно большую апертуру по вертикали по сравнению с первыми двумя сетями. При этом, ее апертура в горизонтальном направлении не уступает апертурам этих двух сетей.

Заключение

На основании анализа литературы показано, что определение местоположения источников вулканического дрожания имеет важное значение для изучения механизма вулканической и магматической деятельности и для прогнозирования опасных вулканических явлений.

Исследована разрешающая способность двух временных сетей сейсмических станций по изучению вулканического дрожания и микроземлетрясений на вулканах Ключевской и Карымский (Камчатка). Проведена оптимизация сетей, в результате которой эффективность одной из сетей удалось увеличить в четыре раза. Это показывает применимость и практическую значимость ранее разработанной методики исследования эффективности сейсмологической сети для изучения землетрясений и вулканического дрожания (Горицкий и др. 1987; Иванов, 2008).

Сделан вывод, что разрешающая способность локации источников ВД в значительной степени определяется конфигурацией используемой сейсмологической сети. Применение более эффективных сетей позволит обеспечить более высокую разрешающую способность метода, что даст возможность изучить имеющиеся нестационарности в сигнале ВД и более полно механизм взрывных вулканических землетрясений.

Список литературы

- Гордеев Е.И., Мельников Ю.Ю., Синицин В.И., Чебров В.Н.* Вулканическое дрожание Ключевского вулкана // Вулканология и сейсмология. 1986. № 5. С. 39-53.
- Горицкий Ю.А.* Способность измерительной системы различать протяженные источники излучения // Цифровое моделирование и оптимизация режимов промышленных объектов и систем. Межвузовский тематический сборник. М.: Изд-во МЭИ, 1984. № 47. С. 92-100.
- Горицкий Ю.А., Феофилактов В.Д., Батасова В.С.* К оценке способности сетей сейсмоприемников различать протяженные и точечные источники // Вулканология и сейсмология. 1987. № 4. С. 59-69.
- Горицкий Ю.А., Фарберов А.И., Иванов В.В., Курмашова Р.Р.* Сравнение сетей сейсмоприемников при измерении вулканического дрожания // Петропавловск-Камчатский. 1990. 34 с. Деп. в ВИНТИ 16.09.1990. № 4666-В90.
- Иванов В.В.* О сопоставлении тепловой мощности эруптивных струй и вулканического дрожания для извержений разных типов // Вулканология и сейсмология. 1988. № 5. С. 53-63.
- Иванов В.В.* Прогнозы крупных извержений вулканов на Камчатке и их оправданность // Вестник ДВО РАН. 2003. № 5. С. 97-108.
- Иванов В.В.* Текущий цикл активности Ключевского вулкана 1995 – 2008 гг.: развитие по сейсмологическим, фото, видео и визуальным данным // Материалы ежегодной конференции, посвященной Дню вулканолога 27-29 марта 2008 г. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2008. С. 100-109.
- Иванов В.В.* Оценка эффективности и планирование сейсмологической сети для изучения вулканического дрожания // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2008. № 2. С. 141-153.
- Токарев П.И.* Вулканическое дрожание // Вулканология и сейсмология. 1981. № 3. С. 55-72.
- Фарберов А.И., Гаретовская И.В.* Исследование вулканического дрожания с помощью сейсморазведочной аппаратуры в районе Толбачинского извержения // Геологические и геофизические данные о БТТИ, 1975-1976 гг. М.: Наука, 1978. С. 234-244.
- Фарберов А.И., Сторчеус А.В., Прибылов Е.С.* Исследование слабой сейсмичности вулкана Карымский в августе 1978 г. // Вулканология и сейсмология. 1983. № 3. С. 78-89.
- Широков В.А.* Некоторые вопросы методики комплексного прогноза побочных извержений вулкана Ключевской (Камчатка) // Вулканология и сейсмология. 1985. № 6. С. 48-57.
- Шубик Б.М., Киселевич В.Л.* Микросейсмическая активность в гидротермальной области и задачи сейсмического мониторинга // Разработка концепции мониторинга природно-технических систем. Т.2. Методика и результаты геодинамического мониторинга природно-технических объектов. ГНТП «Безопасность населения и природно-хозяйственных объектов с учетом риска возникновения природных и техногенных катастроф». М.: ИФЗ РАН, 1993. С. 58-72.
- Chouet B.A.* New methods and future trends in seismological volcano monitoring // Monitoring and mitigation of volcano hazards. Ed. By R. Scarpa, R.I. Tilling. Springer, 1996. P. 23-97.
- Chouet B.A., Dawson Ph., Luca G. De. et al.* Array analysis of seismic wavefields radiated by eruptive activity of Stromboli volcano. Italy: Felici Editore. 1998. CNR-Gruppo Nazionale Per La Vulcanologia. 158 p.
- Cosentino M., Lombardo G., Schick R., Sharp A.D.* Seismological researches on mount Etna: State of art and recent trends // Mem. Soc. Geol. It. 1982. № 25. P. 159-202.
- Koyanagi R.Y., Chouet B., Aki K.* Origin of volcanic tremor in Hawaii. U.S. Geol. Survey Prof. Paper 1350. W. 1987. P. 1221-1257.
- McNutt S.B.* Volcanic tremor: Basic facts and perspective (Abstract) // EOS Trans. Amer. Geophys. Union. 1985. V. 66. P. 1152.

ГЕОМЕХАНИЧЕСКИЙ СПОСОБ ПРОГНОЗА ЦУНАМИ В ЗОНЕ ОСТРОВНЫХ ДУГ

Ившин В.М.¹, Ившина Е.В.²

¹ *Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский;
e-mail: ivt@kscnet.ru;*

² *ВНИИГАЗ, г. Москва; e-mail: E_Ivshina@vniigaz.gasprom.ru*

Введение

В статье (Ившин, Ившина, 2005) был предложен способ прогноза сильных землетрясений в сейсмофокальной зоне островных дуг, для осуществления которого необходимо непрерывное наблюдение за изменением тектонического давления в вулканическом поясе. Данный способ прогноза был найден в процессе наблюдения с помощью геомеханических датчиков за изменением напряженного состояния в вулканическом поясе и опирается на представления об изгибе на нем как на упругом основании островной призмы под нагрузкой океанской плиты перед землетрясением.

В настоящей статье рассматривается изгиб островной призмы как перед сильным землетрясением, так и после него. Обсуждаются вытекающие отсюда следствия. Приводятся результаты геомеханических наблюдений, которые подтверждают справедливость указанных следствий. На базе этого показывается, что величина прогиба островной призмы под нагрузкой океанской плиты перед землетрясением некоторой магнитуды зависит от глубины его очага в сейсмофокальной зоне. На основании данной зависимости утверждается, что непрерывное наблюдение за изменением давления в вулканическом поясе с помощью геомеханического датчика делает возможным прогноз цунами.

Изгиб островной призмы и его следствия

Геофизические исследования структуры вулканов показали, что под вулканами существуют локальные неоднородности, отличающиеся от вмещающей среды пониженными скоростями сейсмических волн. Протяженность по вертикали этих аномальных тел достигает ста километров, а горизонтальные размеры варьируют от нескольких километров до первых десятков километров (Фарберов, 1974). Поскольку расстояние между вулканами равно всего нескольким десяткам километров, локальные неоднородности делают вулканический пояс с его глубинными корнями упругим геологическим телом. Вследствие этого островная призма (рис. 1) под нагрузкой океанской плиты перед сильным землетрясением в сейсмофокальной зоне должна изгибаться на вулканическом поясе так же, как изгибается длинная балка на упругом основании под действием поперечной силы.

В работе (Тимошенко, 1965) анализируется изгиб на упругом основании бесконечно длинной вдоль оси X балки под действием сосредоточенной силы P , приложенной в точке $x = 0$ (рис. 2). Там показывается, что если упругое основание оказывает сопротивление как сжатию, так и растяжению, то изгиб балки удовлетворяет уравнению:

$$EJ \frac{d^4 y}{dx^4} = -ky, \quad (1)$$

где y - прогиб, E - модуль упругости, J - момент инерции поперечного сечения балки, а k - коэффициент упругого основания.

При $x \geq 0$ решение уравнения (1) дает следующее выражение для прогиба:

$$y = \frac{P\beta}{2k} e^{-\beta x} (\cos \beta x + \sin \beta x), \quad (2)$$

где

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{k}{4EJ}}. \quad (3)$$

При $x < 0$ решение уравнения (1) симметрично (2).

График выражения (2), представляющий собой волнообразную кривую с постепенно уменьшающейся амплитудой, приведен на рис.2. На этом рисунке видно, что при

$0 < x < \frac{3\pi}{4\beta}$ балка прогибается в направлении силы, а при $\frac{3\pi}{4\beta} < x < \frac{7\pi}{4\beta}$ - в

противоположном направлении.

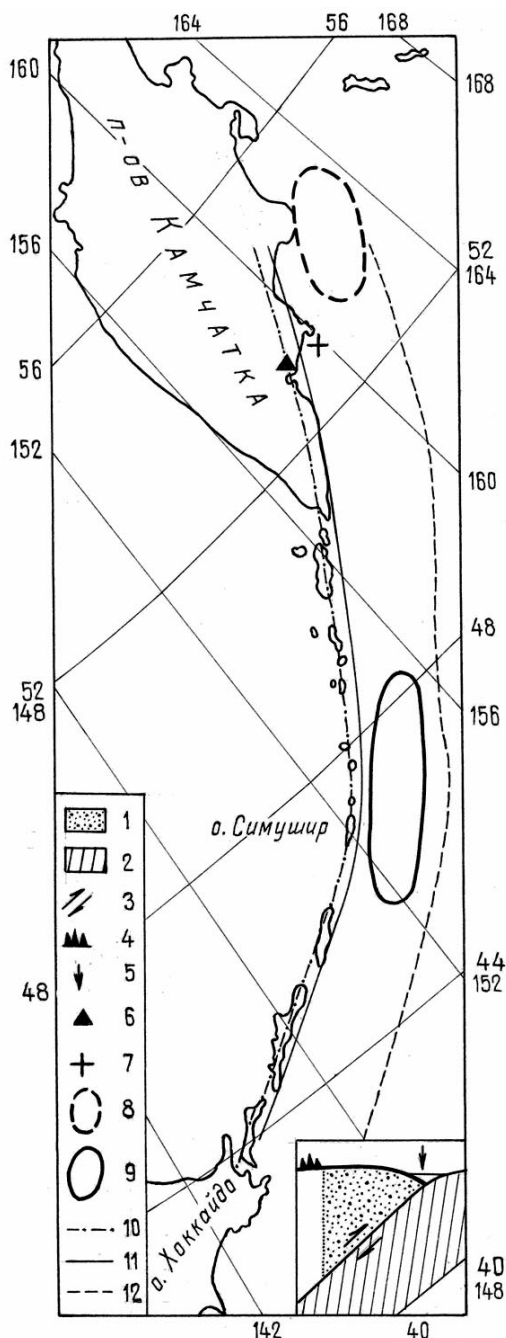


Рис. 1. Карта-схема района геомеханических наблюдений. 1- островная призма; 2 - океанская плита; 3 - усилия сдвига между океанской плитой и островной призмой; 4 - вулканический пояс; 5 - глубоководный желоб; 6 - геомеханический датчик в г. Петропавловске-Камчатском; 7 - эпицентр землетрясения в Авачинском заливе 2 марта 1992 г. с $M = 7.1$; 8 - очаг Кроноцкого землетрясения 5 декабря 1997 г. с $M = 7.8$; 9 - очаг Симуширского землетрясения 15 ноября 2006 г. с $M = 8.3$; 10 - ось Курило-Камчатского вулканического пояса; 11 - примерная внешняя граница Курило-Камчатского вулканического пояса; 12 - ось глубоководного желоба.

На основании сказанного можно утверждать, что островная призма в процессе подготовки сильного землетрясения в сейсмофокальной зоне в районе очага землетрясения под нагрузкой океанской плиты будет прогибаться в сторону вулканического пояса, а на симметричных удалениях от очага вдоль островной призмы - в сторону океана. Прогиб островной призмы в сторону вулканического пояса создаст в последнем область сжатия, где перед землетрясением следует ожидать заметного изменения давления. Океанская плита в реальном времени движется с постоянной скоростью. При увеличении ее сцепления с островной призмой океанская нагрузка усиливается, вызывая рост напряжения в области сцепления. Когда напряжение в данной области достигает предела прочности, начинается ее квазипластическое разрушение. Вследствие этого океанская нагрузка еще до разрыва области сцепления, то есть до землетрясения, начинает постепенно уменьшаться (Гзовский, 1975).

Описанный характер изменения нагрузки океанской плиты влечет за собой подобное изменение прогиба островной призмы и, следовательно, такое же изменение давления в вулканическом поясе.

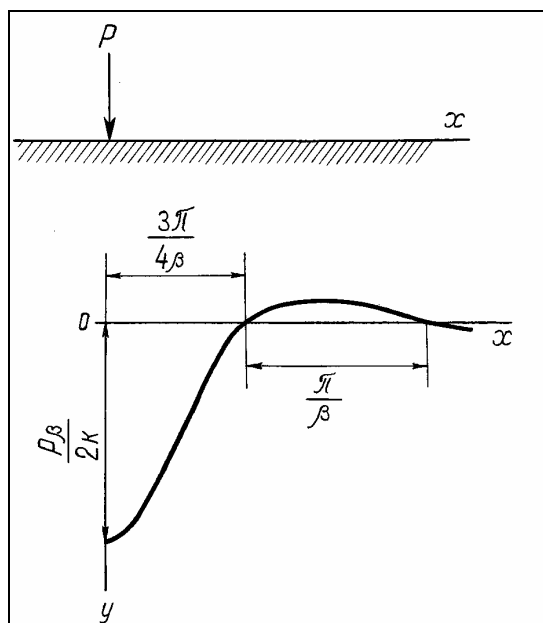


Рис. 2. Эпюра прогиба балки на упругом основании под действием сосредоточенной силы.

Если при землетрясении происходит взброс вдоль границы между островной призмой и океанской плитой со смещением в направлении к океану, то нагрузка океанской плиты с островной призмы снимается и последняя мгновенно оказывается только под нагрузкой упруго сжатого вулканического пояса. Резко приложенная нагрузка, как известно, вызывает перемещение, которое в два раза превышает перемещение, создаваемое той же нагрузкой при постепенном ее приложении (Тимошенко, 1960). Значит, под нагрузкой вулканического пояса островная призма во время землетрясения надвигается на океанскую плиту. Этот надвиг является дополнительным к надвигу, обусловленному упругой отдачей Рейда.

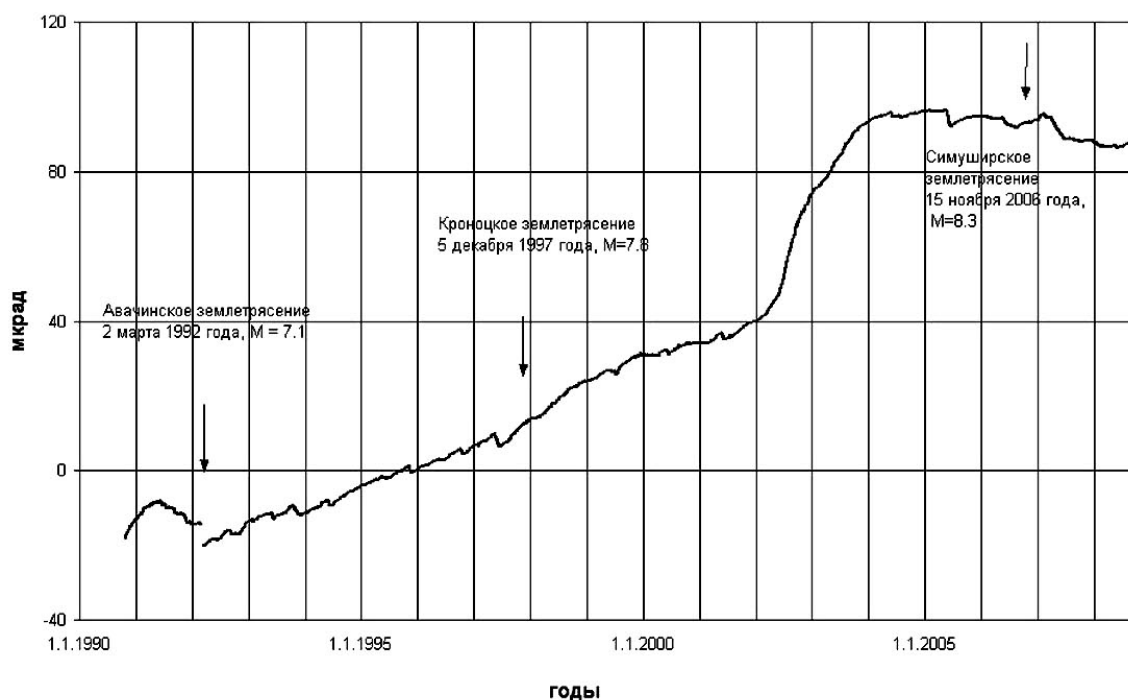
После землетрясения островная призма из-за действия на ее границе с океанской плитой силы трения вернуться в нейтральное положение не может и начинает медленно изгибаться на вулканическом поясе как на упругом основании. В окрестности надвига она прогибается в сторону океана, а на удалении от него – в сторону вулканического пояса. Прогиб островной призмы к океану создаст в вулканическом поясе область растяжения, а прогибы к вулканическому поясу – области сжатия. Область растяжения значительно длиннее очага землетрясения. Поэтому при размере очага порядка 100 км появление области сжатия можно ожидать за несколько сотен километров от него.

Изгиб островной призмы после сильного землетрясения воздействует не только на напряженное состояние вулканического пояса. Он оказывает влияние и на сейсмический процесс в сейсмофокальной зоне. Там, где в вулканическом поясе образуется область растяжения, в сейсмофокальной зоне появляется дополнительное напряжение, совпадающее по направлению с напряжением, которое создается нагрузкой океанской плиты. Там же, где в вулканическом поясе образуется область сжатия, в сейсмофокальной зоне появляется напряжение, противоположное по направлению напряжению, создаваемому океанской нагрузкой. В первом случае в сейсмофокальной зоне формируется напряженное состояние, при котором повышается вероятность возникновения нового сильного землетрясения. Во втором случае в сейсмофокальной зоне формируется напряженное состояние, при котором вероятность возникновения нового сильного землетрясения становится незначительной.

Результаты геомеханических наблюдений

Наблюдения за вертикальными градиентами горизонтального смещения в скальном массиве на глубине около пятидесяти метров позволяют следить за изменением тектонического напряжения, так как данные градиенты смещения, как показано в (Ившин, Ившина, 2005), под действием веса вышележащих пород меняются во времени линейно, а

под действием тектонического напряжения – в соответствии с изменением напряжения в общем случае нелинейно. Наблюдения за вертикальными градиентами горизонтального смещения можно выполнять с помощью геомеханического датчика, представляющего собой прочно связанную со средой вертикальную гильзу, в которой для преобразования механического сигнала в электрический закреплен скважинный наклонномер модели НИВ-1 (Ившин, 1993). Геомеханический датчик измеряет углы отклонения продольной оси датчика от отвесной линии в двух взаимно ортогональных направлениях. При малой величине эти углы характеризуют вертикальные градиенты горизонтального смещения.



б

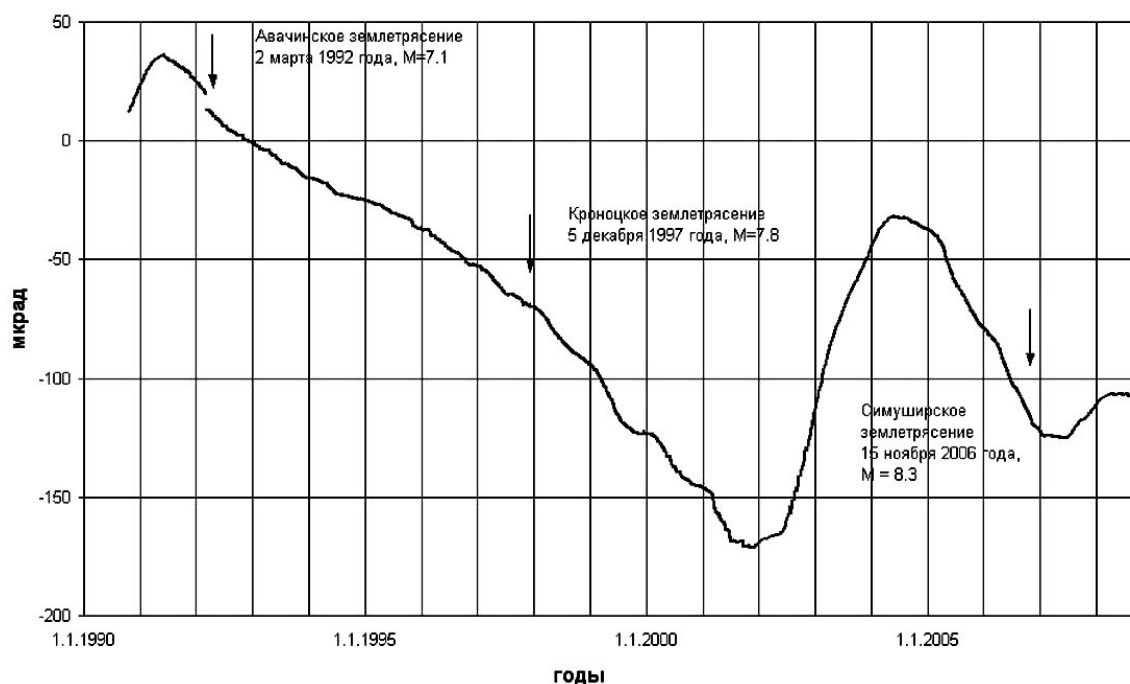


Рис. 3. Временные ряды углов отклонения продольной оси геомеханического датчика от отвесной линии в направлении С-Ю (а) и в направлении З-В (б), характеризующие изменение вертикального градиента горизонтального смещения в скальном массиве вулканического пояса в районе г. Петропавловск-Камчатский.

Для проведения наблюдений за изменением во времени вертикальных градиентов горизонтального смещения в направлениях С-Ю и З-В в вулканическом поясе Курило-Камчатской островной дуги был создан геомеханический датчик в г. Петропавловске-Камчатском (рис. 1). Под действием веса вышележащих пород сигнал этого датчика в направлении С-Ю алгебраически увеличивается, а в направлении З-В – уменьшается. Под действием тектонического напряжения сжатия, которое в вулканическом поясе повышает давление, сигнал датчика увеличивается как в направлении С-Ю, так и в направлении З-В. Напряжение растяжения, понижающее давление в вулканическом поясе, вызывает уменьшение сигналов датчика и в направлении С-Ю, и в направлении З-В. Под действием тектонического напряжения сжатия, направленного поперек вулканического пояса, но не влияющего на давление в нем, сигнал датчика в направлении С-Ю уменьшается, а в направлении З-В – увеличивается. Реакция датчика на поперечное напряжение растяжения, которое не влияет на давление в вулканическом поясе, противоположна. Наблюдения на геомеханическом датчике начались осенью 1990 года. На рис. 3 приведены полученные временные ряды.

Во время наблюдений, а именно 2 марта 1992 года, на расстоянии примерно 110 км от г. Петропавловск-Камчатский в Авачинском заливе произошло землетрясение с $M = 7.1$ (рис. 1). Очаг землетрясения занимал диапазон глубин от 10 до 40 км. В вертикальной плоскости очаг имел эллипсообразную форму, большая ось которой наклонена на восток. В горизонтальной плоскости очаг также имел эллипсообразную форму с осями 25 км и 20 км. В очаге была отмечена взбросовая подвижка по поверхности, падающей под полуостров Камчатка (Зобин, 1996). До момента землетрясения, как видно из рис.3, сигналы датчика и в направлении С-Ю, и в направлении З-В- одновременно нелинейно увеличивались и одновременно нелинейно уменьшались. Это означает, что перед Авачинским землетрясением на территории г. Петропавловска-Камчатского происходило изменение давления, которое могло быть обусловлено только прогибом островной призмы под нагрузкой океанской плиты в сторону вулканического пояса. Характер изменения давления говорит о том, что нагрузка океанской плиты сначала постепенно нарастала, а затем, достигнув незадолго до землетрясения наибольшей величины, начала снижаться. Следовательно, перед Авачинским землетрясением имело место квази-пластическое разрушение горнопородной среды в его очаге, которое началось тогда, когда нагрузка океанской плиты стала максимальной. С наступлением квазипластического разрушения в очаге землетрясение как макроразрыв в естественных условиях нагружения в зоне субдукции, то есть когда напряжение в ней определяется только океанской нагрузкой, неизбежен. Поэтому наблюдение с помощью геомеханического датчика за изменением давления в вулканическом поясе позволяет осуществлять прогноз сильного землетрясения. Основанием для прогноза является уменьшение давления после достижения им наибольшей величины.

С 1992 года геомеханические наблюдения стали выполняться для того, чтобы указанным способом на практике дать прогноз сильного землетрясения в Авачинском заливе. 5 декабря 1997 года у тихоокеанского побережья Камчатки недалеко от Кроноцкого полуострова произошло землетрясение с $M = 7.8$ (рис. 1). Размер очага землетрясения на поверхности был равен 200x50 км, а в нижнем горизонте 200x100 км. Нижняя граница очага располагалась на глубине около 40 км. Механизм землетрясения интерпретируется как типичный «субдукционный» взброс, при котором подвижка достигала величины 2.4 м (Гусев, 1998). На рис. 3 видно, что после Кроноцкого землетрясения сигнал датчика в направлении С-Ю начал незначительно нелинейно увеличиваться, а в направлении З-В – уменьшаться. Значит, после Кроноцкого землетрясения на территории г. Петропавловска-Камчатского, который расположен на расстоянии примерно 250 км от центра очага землетрясения, появилось тектоническое напряжение растяжения, направленное поперек вулканического пояса. Появление напряжения растяжения подтверждают и годовые колебания временного ряда в

направлении З-В, обусловленные промерзанием и протаиванием поверхностного слоя Земли. Обнаруженное напряжение показывает, что после Кроноцкого землетрясения островная призма начала изгибаться на вулканическом поясе как на упругом основании, причем в Авачинском заливе она прогибалась в сторону океана. Возникающее при этом в сейсмофокальной зоне напряжение накладывается на имеющее то же направление напряжение, создаваемое субдуцирующей океанской плитой, повышая вероятность возникновения нового сильного землетрясения.

Подготовка такого землетрясения в Авачинском заливе началась в 2002 году, поскольку в это время, как следует из рис. 3, начался рост давления в вулканическом поясе в районе г. Петропавловска-Камчатского. В 2004 году давление достигло максимальной величины и из-за начавшегося квазипластического разрушения очага стало постепенно уменьшаться. На основании этого и сформулированного выше геомеханического метода прогноза сильного землетрясения авторами настоящей статьи на Всероссийской конференции «Риск-2006» было сделано сообщение о том, что до конца 2006 года в Петропавловске-Камчатском должно было произойти сильное землетрясение (Ившин, Ившина, 2006). Однако этого не случилось. И по следующей причине. 15 ноября 2006 года восточнее острова Симушир на расстоянии примерно 800 км от г. Петропавловска-Камчатского вдоль Курило-Камчатской островной дуги произошло землетрясение с $M = 8.3$ (рис. 1). Оно было вызвано взбросом со смещением величиной 6.7 м вдоль полого падающей на запад поверхности длиной 300 км, шириной 60 км. Очаг землетрясения располагался в диапазоне глубин от 0 до 40 км (Тихонов, 2007). Во время землетрясения произошел надвиг островной призмы на океанскую плиту, вследствие чего островная призма начала изгибаться на вулканическом поясе как на упругом основании. Это вызвало, как можно видеть на рис. 3, более интенсивное, чем до землетрясения, уменьшение сигнала датчика в направлении С-Ю, а в направлении З-В сигнал датчика вместо уменьшения стал увеличиваться. Следовательно, в вулканическом поясе в районе Петропавловска-Камчатского возникло тектоническое напряжение сжатия, направленное поперек вулканического пояса. Появление такого напряжения свидетельствует о прогибе островной призмы в сторону вулканического пояса. Данный прогиб в сейсмофокальной зоне Авачинского залива вызвал рост напряжения, которое по направлению противоположно напряжению, создаваемому нагрузкой океанской плиты. Под действием указанного напряжения нагрузка океанской плиты на островную призму должна постепенно уменьшаться. И это подтверждается характером изменения сигналов датчика. С середины 2008 года сигнал датчика в направлении С-Ю стал увеличиваться, а в направлении З-В – уменьшаться (рис. 3). Так сигнал датчика может изменяться только под действием веса вышележащих пород. Следовательно, к середине 2008 года давление в вулканическом поясе, обусловленное тектоническими силами, практически исчезло и, следовательно, нагрузка океанской плиты в районе Авачинского залива существенно уменьшилась. По этой причине вероятность сильного землетрясения в Авачинском заливе стала незначительной.

Зависимость давления в вулканическом поясе от глубины очага землетрясения

Изложенные выше результаты геомеханических наблюдений подтверждают следствия, вытекающие из представлений об изгибе островной призмы на вулканическом поясе как на упругом основании до и после сильного землетрясения. Это означает, что изгиб островной призмы действительно имеет место. Оценим её максимальный прогиб под нагрузкой океанской плиты перед сильным землетрясением.

Характер изгиба бесконечно длинной балки на упругом основании под действием распределенной нагрузки качественно не меняется по сравнению с тем, какой она имеет под действием сосредоточенной нагрузки. Поэтому на основании соотношения (2)

максимальный прогиб островной призмы под нагрузкой океанской плиты перед сильным землетрясением в первом приближении оценим величиной

$$y_{\max} = \frac{P\beta}{2k} = \frac{P}{2k^{\frac{3}{4}}(4EJ)^{\frac{1}{4}}}. \quad (4)$$

Силу P запишем в виде

$$P = \sigma S, \quad (5)$$

где σ - касательное напряжение, создаваемое сдвиговой нагрузкой океанской плиты в очаге назревающего землетрясения, S - площадь сцепления между островной призмой и океанской плитой, характеризующая размер очага указанного землетрясения.

Подставляя (5) в (4) окончательно получим:

$$y_{\max} = \frac{\sigma S}{2k^{\frac{3}{4}}(4EJ)^{\frac{1}{4}}}. \quad (6)$$

Из (6) следует, что прогиб островной призмы, определяющий давление в вулканическом поясе, увеличивается с ростом напряжения в очаге будущего землетрясения. Наибольшей величины он достигает, когда напряжение становится равным пределу прочности.

Так как прочность литосферы существенно увеличивается с глубиной, а скорость изменения напряжения в очаге в реальном времени постоянна, то, основываясь на соотношении (6), можно заключить, что продолжительность роста давления в вулканическом поясе перед сильным землетрясением зависит от глубины очага. Очевидно, что перед землетрясением, очаг которого расположен около глубоководного желоба, давление достигает максимальной величины значительно быстрее, чем перед землетрясением той же магнитуды с очагом, расположенным вблизи вулканического пояса. Типичные кривые напряжения – деформация для горных пород свидетельствуют, что чем выше давление и выше температура при постоянной скорости деформации, тем больше времени проходит с момента достижения напряжением предела прочности горной породы до момента ее разрушения (Хэндин, 1991). Значит, чем больше глубина очага землетрясения некоторой магнитуды в сейсмофокальной зоне островных дуг, тем дольше перед землетрясением будет спадать давление в вулканическом поясе после достижения им наибольшей величины. Из сказанного следует, что характер изменения давления в вулканическом поясе зависит от глубины очага землетрясения. Чем глубже очаг, тем длиннее отрезок времени нелинейного изменения давления до момента землетрясения. Приведенные на рис.3 временные ряды являются опытным подтверждением данной зависимости.

Выводы

В настоящее время можно считать установленным, что цунами вызывается взбросом дна океана во время землетрясения, обусловленного нагрузкой океанской литосферной плиты. Представляется очевидным, что сильный взброс может произойти только при землетрясении, очаг которого располагается в сейсмофокальной зоне вблизи глубоководного желоба. Следовательно, зависимость давления в вулканическом поясе перед землетрясением от положения его очага в сейсмофокальной зоне открывает возможность для прогноза цунами путем непрерывного наблюдения за изменением указанного давления с помощью геомеханического датчика. Однако данная задача может быть выполнена только в том случае, если перед землетрясением имеет место заметный прогиб островной призмы. Но для этого, как видно из (6), площадь сцепления островной призмы с океанской плитой, характеризующая размер очага землетрясения, должна быть достаточно большой. Таким образом, можно утверждать, что непрерывное наблюдение за изменением давления в вулканическом поясе с помощью геомеханического датчика позволяет осуществлять прогноз сильного цунами. О подготовке цунамигенного

землетрясения будет свидетельствовать быстрый и большой рост давления в вулканическом поясе.

Список литературы

- Гзовский М.В.* Основы тектонофизики. М.: Наука, 1975. С. 28-71.
- Гусев А.А., Левина В.И., Салтыков В.А., Гордеев Е.И.* Сильное Кроноцкое землетрясение 5 декабря 1997 года: основные данные, сейсмичность очаговой зоны, механизм очага, макросейсмический эффект // Кроноцкое землетрясение на Камчатке 5 декабря 1997 года / Под ред. Гордеева Е.И., Иванова Б.В., Викулина А.В. Петропавловск-Камчатский, 1998. С. 32-49.
- Зобин В.М., Гордеев Е.И., Левина В.И. и др.* Камчатское землетрясение 2 марта 1992 г. (магнитуда $M_L=7.1$) в Авачинском заливе и связанные с ним явления // Вулканология и сейсмология. 1996. № 6. С. 48-61.
- Ившин В.М.* Скважинный наклономер НИВ-1 // Вулканология и сейсмология. 1993. № 5. С. 105-112.
- Ившин В.М., Ившина Е.В.* Геомеханический метод прогноза сильных землетрясений // Вулканология и сейсмология. 2005. № 6. С. 61-67.
- Ившин В.М., Ившина Е.В.* Текущая сейсмическая обстановка в районе Петропавловска-Камчатского по геомеханическим данным // Материалы Всероссийской конференции «Риск-2006» / Отв. редактор Рагозин А.Л. Москва: Изд-во Российского университета дружбы народов, 2006. С. 133-135.
- Тимошенко С.П.* Сопротивление материалов. Т.1. М.: Гос.изд. физ.-мат. Литературы, 1960. 380 с
- Тимошенко С.П.* Сопротивление материалов. Т.2. М.: Наука, 1965. 480 с.
- Тихонов И.Н., Василенко Н.Ф., Прытков А.С. и др.* Катастрофические Симуширские землетрясения 15 ноября 2006 г. и 13 января 2007 г. // Проблемы сейсmobезопасности Дальнего Востока и Восточной Сибири: междунар. научн. симпоз., Южно-Сахалинск, Россия, 27-30 сентября 2007 г. / Отв. ред. Тихонов И.Н., Коновалов А.В. Южно-Сахалинск: Ин-т мор. геологии и геофизики ДВО РАН, 2007. 166 с.
- Фарберов А.И.* Магматические очаги вулканов восточной Камчатки по сейсмологическим данным. Новосибирск: Наука, 1974. 88 с.
- Хэндин Д.* Реология горных пород // Структурная геология и тектоника плит / Под ред. К. Сейферта. Москва: Мир, 1991. С. 249-262.

ВЕРХНЕ-ЩАПИНСКИЕ ТЕРМАЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ: УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ И ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ

Калачева Е.Г., Кузьмина А.А.

*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский
e-mail: keg@kscnet.ru*

К хребту Тумрок (Восточная Камчатка) приурочен ряд термопроявлений. Наиболее изученными среди них являются Нижне- и Верхне-Щапинские источники, расположенные в грабене р. Левая Щапина (рис. 1). Впервые Нижне-Щапинские источники были описаны В.Л. Комаровым в ходе экспедиции Русского географического общества в 1908 году (Комаров, 1950), а затем Б.И. Пийпом (1937). Основные работы по исследованию терм долины р. Левая Щапина относятся ко второй половине 20 века (Петров, 1970а, 1970б; Кирсанова, Юрова, 1982; 1986¹). Геологическое строение Щапинского грабена изучали А.Е. Шанцер в соавторстве с А.Р. Гептнер, И.А. Егоровой и др. (1969), и в соавторстве с Ф.Ш. Кутыевым, В.С. Петровым (1973).



Рис. 1. Расположение термальных источников в долине р. Левая Щапина.

Верхне-Щапинские источники расположены у подножия тектонического уступа в основании левого склона долины р. Лев. Щапина. Выходы термальной воды сосредоточены вдоль трещины северо-восточного простирания. На наиболее высокотемпературном (40-50°C) участке имеется 12 выходов, приуроченных к небольшим котловинам, некоторые из которых каптированы деревянными срубами. Источники активно газируют. Газ на 89-90об.% представлен углекислотой (Кирсанова, Юрова, 1986¹). К северо-востоку и юго-западу от основных выходов встречаются еще около 20 источников с температурой 15-30°C. Воды из всех выходов сливаются в один термальный ручей с расходом 40 л/с, впадающий в р. Левая Щапина.

¹ Кирсанова Т.П., Юрова Л.М. Отчет на тему: Термальные воды Щапинского грабена - их геохимические особенности и геотермальные ресурсы. Фонды ИВиС РАН, 1986, 239 с.

Верхне-Щапинские термальные источники расположены на дне грабена р. Левая Щапина, который является частью 100 км Щапинского грабена, ограниченного горстантиклинальными поднятиями Асхачного Увала с одной стороны, и хребтом Тумрок, с другой. Асхачный увал сложен породами щапинской свиты (N_2^1) и тумрокского комплекса (N_2^2), а в строении хребта Тумрок помимо этих комплексов принимают участие мел-палеогеновые образования и четвертичные вулканиты иульского комплекса (Шанцер и др, 1969). Слагающие борта Щапинского грабена осадочные и вулканогенные толщи сильно дислоцированы и разбиты большим количеством разрывных тектонических нарушений на блоки. Они также прорваны интрузивными и субвулканическими телами разного состава. Дно Щапинского грабена сложено осадочными (флювиогляциальными, аллювиальными, озерными) отложениями и вулканическими породами познеплейстоценового - голоценового возраста. Активный вулкан Кизимен, расположенный на разломе в зоне сочленения дна Щапинского грабена и борта горста хр.Тумрок, сложен голоценовыми вулканитами (лава и пирокластика риолито-дацитового и андезитобазальтового составов) (Шанцер и др., 1973).

Методика работ и химический состав термальных вод

Отбор проб на общий химический состав Верхне-Щапинских терм проводился в ноябре 2007 года. Опробование было сконцентрировано на участке основной разгрузки. Пробы для химического анализа отбирались в пластиковые бутылки объемом 0.5 л без подкисления. Параметры, являющиеся нестабильными (рН, Eh, электропроводность и температура), измерялись непосредственно на месте отбора с помощью карманных измерительных приборов фирмы HANNA (Combo pH&EC и ORP&°C/°F). Общий химический анализ проб воды выполнялся в ЦХЛ ИВиС ДВО РАН стандартными методиками. Титриметрией определялись Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} , пламенно-фотометрическим методом - Na^+ , K^+ , электрометрическим - HCO_3^- , F^- , H_3BO_3 , фотоколориметрией - H_4SiO_4 .

Химический состав Верхне-Щапинских терм представлен в таблице. Анализируя полученные данные, можно отметить, что воды имеют нейтральную реакцию, рН близкое к 7. Температура варьирует от 28 до 50°C, а минерализация достигает 4.5 г/л. Основные макрокомпоненты, формирующие химический состав воды, содержатся в следующих соотношениях $Cl^- > HCO_3^- > SO_4^{2-}$, $Na > Ca > Mg$. Максимальное содержание хлора колеблется в пределах 1.3-1.4 г/л, натрия – 1.0-1.1 г/л. Наиболее характерные отношения натрия к хлору - 0.7-0.8. Особенностью Верхне-Щапинских терм является высокое содержание бора (до 0.380 г/л H_3BO_3 , максимальные значения для Камчатки) и повышенное содержание кремнекислоты (до 0,2 г/л), что характерно для различных типов вод полуострова.

Проведенный корреляционный анализ выявил сильные прямые связи между концентрациями отдельных компонентов в термальных водах. Так, в термах четко обособливается группа связанных как между собой элементов Cl^- ($r=0.986-0.99$) Na^+ ($r=0.98-0.99$), K^+ ($r=0.94-0.99$), B^- ($r=0.94-0.98$), так и с величиной общей минерализации ($r=0.92-0.96$) и с температурой ($r=0.79-0.85$). Значительные прямые связи наблюдаются также между SO_4^{2-} и Ca^{2+} ($r=0.96$) и обратные - между этими элементами и рН ($r=0.80-0.82$). Полученные данные свидетельствуют о единстве глубинной составляющей для всех источников и отражают общность условий их миграции.

Для определения степени взаимодействия термальных вод с породами с помощью программного пакета AquaChim 5.1 рассчитаны индексы насыщения (Log AP/КТ) вод по отношению к различным минералам. Исследуемые Верхне-Щапинские термы перенасыщены по отношению к силикатам (кварц, халцедон) и недонасыщены по отношению к ангидриту, флюориту, галиту. По мере возрастания температуры индексы насыщения возрастают, и если при низких температурах воды являются недонасыщенными по отношению к карбонатам (арагонит, кальцит, доломит), то при максимальных температурах в термальных водах указанные минералы переходят в перенасыщенное состояние

Таблица. Химический состав Верхне-Щапинских термальных вод.

номер пробы	t	pH	Eh	SEC	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	F ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	H ₄ SiO _{4p}	H ₄ SiO _{4к}	H ₃ BO ₃	М общ.	Тип вод
	°C		mV	uS/cm	мг/л	мг/л	мг/л	мг/л	мг/л	мг/л	мг/л	мг/л	мг/л	мг/л	мг/л	г/л	
ТМ-1/07	47.0	6.72	162	6280	72.5	1047.4	152.3	41.3	1382.9	0.33	307.4	872.5	204.6	11.4	340.3	4. 44	Na-Cl-HCO ₃
ТМ-2/07	34.1	7.18	148	3240	39.8	518.4	80.2	24.3	709.5	0.26	192.1	486.9	150.0	48.0	164.8	2. 41	Na-Cl-HCO ₃
ТМ-3/07	48.5	6.71	142	6340	75.2	1026.2	152.3	41.3	1436.1	0.31	307.4	867.7	199.0	79.0	353.1	4. 54	Na-Cl-HCO ₃
ТМ-4/07	35.0	6.66	206	1920	23.8	277.8	68.1	17	354.6	0.23	96.1	335.6	118.6	43.4	94.2	1.43	Na-Cl-HCO ₃
ТМ-5/07	50.0	6.79	185	5750	75.2	1004.9	160.3	43.8	1329.8	0.27	288.2	862.8	194.4	39.6	335.5	4. 33	Na-Cl-HCO ₃
ТМ-6/07	43.8	6.97	175	5320	70.7	920.0	156.3	43.8	1294.3	0.24	269.0	814.0	167.6	31.8	317.8	4. 09	Na-Cl-HCO ₃
ТМ-7/07	43.8	7.11	185	5200	70.7	920.0	140.3	38.9	1276.5	0.24	288.2	784.7	156.6	67.4	335.5	4. 08	Na-Cl-HCO ₃
ТМ-8/07	42.7	6.89	149	6540	81.9	1111.1	150.3	40.1	1498.2	0.31	307.4	911.6	174.0	69.4	382.5	4.73	Na-Cl-HCO ₃
ТМ-9/07	30.8	6.9	195	6270	21.4	240.6	60.1	14.6	283.7	0.23	96.1	335.6	96.8	42.0	79.4	1. 27	Na-Cl-HCO ₃
ТМ-10/07	34.3	6.78	200	5650	17.4	184.0	17.4	14.6	230.5	0.21	86.4	296.5	89.0	68.4	61.8	1. 10	Na-Cl-HCO ₃
ТМ-11/07	28.7	6.8	210	3440	67.7	941.2	136.3	31.6	1241.1	0.30	249.8	760.3	150.0	8.8	311.9	3. 90	Na-Cl-HCO ₃
ТМ-12/07	28.8	6.69	28.8	4400	50.4	682.9	108.2	24.3	948.6	0.20	211.3	613.8	126.0	52.8	229.5	3. 05	Na-Cl-HCO ₃

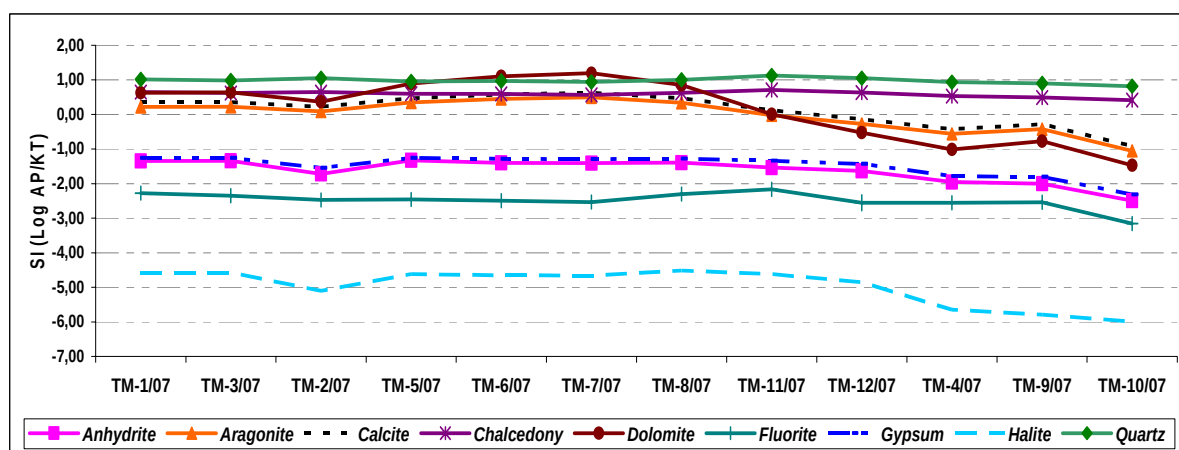


Рис. 2. Индексы насыщения (Log AP/KT) Верхне-Щапинских термальных вод.

то есть способны осаждаться из раствора (рис. 2). Полученные данные хорошо соотносятся с обстановкой в районе - осадки Верхне-Щапинских источников представлены карбонатно-кремневыми травертинами (Кирсанова, Юрова, 1986¹)

На треугольной диаграмме Пайпера (рис. 3а) представлен химический состав основных групп термопроявлений, встречающихся в долине р Левая Щапина (рис. 1). Данные о составе Нижне-Щапинских, Беловских, Верхне-Беловских и Больше-Иульских термальных источников заимствованы из отчета (Кирсанова, Юрова, 1986¹). По составу основных анионов и катионов Верхне-Щапинские и Беловские термы близки между собой, но при этом Беловские источники имеют более четко выраженный хлоридный натриевый состав. Они также имеют сходные значения pH, температуры и общей минерализации. Нижне-Щапинские источники попадают в поле гидрокарбонатных натриево-магниевых вод. По сравнению с Верхне-Щапинскими термами они имеют более низкую температуру (24-35°C), выше значение pH (7.5-8.0) и меньшее количество растворенных солей ($M_{\text{общ.}}$ 0.6-2 г/л). Особенностью этих вод является отсутствие (или минимальное значение) сульфат-иона. Отдельной группой расположены кислые (pH 2.5-4) Верхне-Беловские и Больше-Иульские источники. Среди анионов в этих водах преобладает SO_4^{2-} , среди катионов – Ca^{2+} . Максимальная минерализация достигает 2.45 г/л. Температура варьирует от 10 до 20°C.

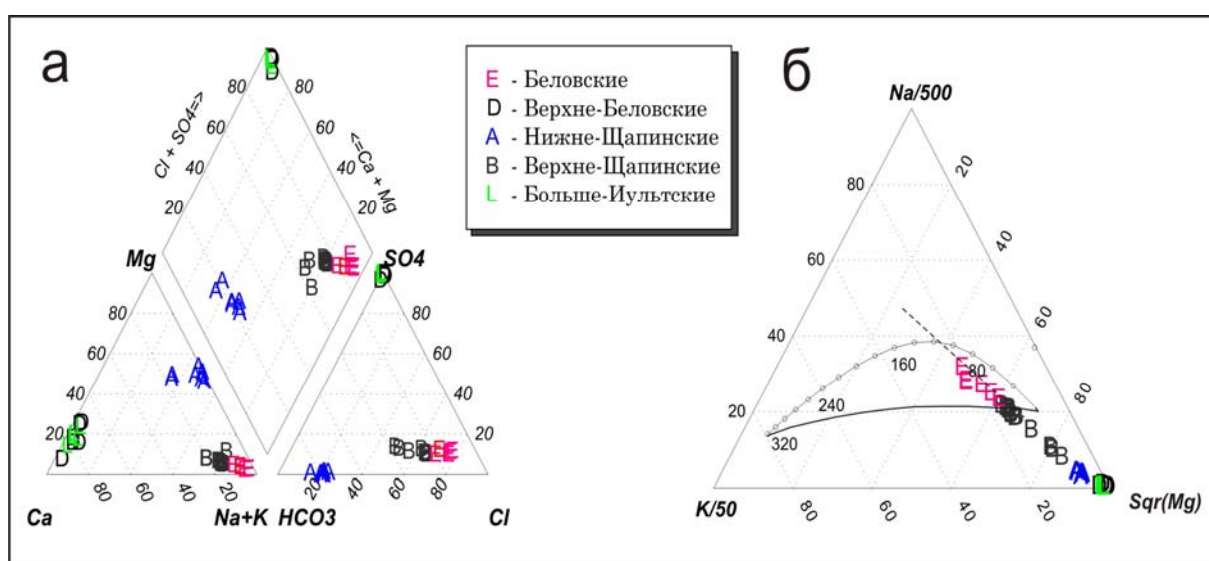


Рис. 3. Химический состав (а) и диаграмма У. Гигенбаха для термальных вод долины р. Левая Щапина.

Для того, чтобы оценить условия формирования вод, были рассчитаны глубинные температуры термальных вод, с использованием различных геотермометров. Определение пригодности катионных геотермометров проводилось с помощью графической палетки У.Гиггенбаха (рис. 3б), на которой изображены данные по термальным водам Щапинского грабена. В зоне частичного равновесия, в температурном диапазоне 110-120°C находятся только Беловские термы. Для остальных групп термальных источников применение Na-K геотермометров не корректно, так как эти воды не являются насыщенными по отношению к этим компонентам. Расчеты по Si-геотермометрам (кварцевый, кварц-халцедоновый) для Верхне-Щапинских и Беловских имеют хорошую сходимость и дают температурный диапазон от 110 до 140°C.

Анализ изотопных данных ($\delta^{18}\text{O}$ и δD), проведенный Т.П. Кирсановой и Л.М. Юровой (1986¹), выявил тесную связь между метеорными и термальными водами. При этом наблюдаемые вариации изотопного состава (увлечение концентраций $\delta^{18}\text{O}$) термальных вод определяются их взаимодействием с вмещающими породами. Значительный сдвиг в Верхне-Щапинских источниках объясняется высокотемпературными (>200°C) условиями взаимодействия воды с породой.

Гидрохимическая модель формирования Щапинской гидротермальной системы

Термальные источники грабена р. Левая Щапина являются поверхностными проявлениями Щапинской гидротермальной системы. Данная система располагается в северо-восточной части Щапинского грабена, приуроченного к зоне сочленения Центральной Камчатской депрессии и системы горстантиклинальных поднятий Восточного хребта. Пространственно грабен совпадает с крупной дугообразной зоной растяжения, находящейся в стадии активизации с середины верхнего плейстоцена и контролировавшей внедрение ряда интрузий, одна из которых представляет собой большой плутон, сложенный кварцевыми диоритами. Предполагаемым источником тепла для системы является глубинный расплав, который способствовал внедрению больших объемов магмы, приведших к формированию эруптивных центров (т.н. конус Тамары) и комплекса интрузий, не имеющих вулканов, которые могли бы представлять экструзивные эквиваленты современных дацитовых интрузий (Шанцер и др., 1969). Водное питание системы в основном метеорное, сильная раздробленность вмещающих пород позволяет проникать инфильтрационным водам на значительные глубины, а интрузивные комплексы помимо теплового питания, обеспечивают хлором, некоторыми газами и другими элементами. Образованные хлоридные гидротермы поднимаются к поверхности. Кипение их происходит на малых глубинах в ответ на спад давления, в результате чего в субповерхностных горизонтах образуются зоны двухфазного теплоносителя (Hedenquist, 1988). Смешение восходящего потока хлоридных гидротерм с подземными водами зоны аэрации приводит к снижению температуры и общей минерализации и формированию горячих термальных источников хлоридного состава (Верхне-Щапинские и Беловские источники). Растёки гидротерм следующие по структурам растяжения в условиях интенсивного разбавления и понижения температуры за счет длительного взаимодействия с холодными подземными водами приводят к формированию нейтральных гидрокарбонатных гидротерм на более низких гипсометрических уровнях (Нижне-Щапинские источники). Гидротермальные системы, подобные Щапинской, относятся к Кордильерному типу (Lawless, 1993). Аналогом Щапинской гидротермальной системы может служить Налычевская гидротермальная система (Камчатка), Тонгонан (Филиппины) и др.

Авторы выражают глубокую признательность Ф.А. Фарберову за помощь в отборе проб и представленный фотоматериал.

Список литературы

- Кирсанова Т.П., Юрова Л.М.* Термальные источники Щапинского грабена // Вопросы географии Камчатки. 1982. № 8. С. 59-66.
- Комаров В.Л.* Избранные сочинения Том 6. М.:Издательство АН СССР, 1950, 528 с.
- Петров В.С.* Современная сольфатарная деятельность вулкана Кизимен // Вопросы географии Камчатки. 1970а. № 6. С. 124-129.
- Петров В.С.* Термальные источники хребта Тумрок (Восточная Камчатка) и минеральные отложения в них // Минералогия гидротермальных систем Камчатки и Курильских островов. М.: Наука, 1970 б. С.144-157.
- Пийп Б.И.* Термальные ключи Камчатки. Л: Изд. Ак. Наук СССР, 1937. С.183-190.
- Шанцер А.Е., Гептнер А.Р., Егорова И.А. др.* Вулканогенные толщи хребта Тумрок, их палеомагнитная характеристика и возраст // Известия АН СССР. Серия геологическая. 1969. № 9. С. 73-83.
- Шанцер А.Е., Кутыев Ф.Ш., Петров В.С.* Вулкан Кизимен //Бюллетень вулканологических станций. 1973. № 4. С. 29-36.
- Hedenquist J.* Epithermal gold mineralisation. Wairakei, New Zealand. 1988. 360 p.
- Lawless J.V.* Variations in types of geothermal system with geological setting around the Pacific Rim, in: Islands and basins: correlation and comparison of onshore and offshore geology. G.E. Whiller (Ed.). SOPAC Miscellaneous Report 159. 1993. 22 p.

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ОБРАЗОВАНИЯ ПРОТОБОКСИТОВОГО ВЕЩЕСТВА НА ТЕРМАЛЬНЫХ ПОЛЯХ КИХПИНЫЧСКОГО ДОЛГОЖИВУЩЕГО ВУЛКАНИЧЕСКОГО ЦЕНТРА, КАМЧАТКА

Карданова О.Ф.

*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский,
e-mail: kof@kscnet.ru*

Прошло почти сто лет (осень 1909 г.) с тех пор, как студент В.П. Савич, участник биологического отряда Камчатской экспедиции Ф.П. Рябушинского под руководством В.Л. Комарова, описал северный конус вулкана Кихпиныч, который получил в дальнейшем его имя (Комаров, 1950). У подножия вулкана Кихпиныч В.Л. Комаровым отмечены карбонатные и железистые осадки (Комаров, 1950). Возможно, это осадки термального поля (ТП) Травертинового (рис. 1, поле 7), где до сих пор на устьях теплых источников (21-29°C) осаждаются сидерогель. По ходу водотоков эти осадки сменяются карбонатными. Мощность травертина более 1 м, площадь этих осадков ~ (50-60)х200 м.

Исследованию геологического строения рассматриваемого района посвящены работы многих исследователей (Аверьев и др., 1971; Белоусов, 1978; Белоусов и др., 1983; Брайцева и др., 1974, 1985, 1991; Леонов, 1982; Леонов, Гриб, 2004); изучением теплового потока и гидротермальной деятельности занимались такие исследователи, как В.В. Аверьев с соавторами (Аверьев и др., 1971), Н.Г. Сугрובה (1982) и др.; изучению гидротермально измененных пород и металлоносности современных гидротерм большое внимание уделяла С.И. Набоко (1980).

Впервые Кихпинычский долгоживущий вулканический центр (КДВЦ), который расположен в центральной части Восточного вулканического пояса Камчатки, был выделен В.И. Белоусовым (Белоусов, 1978). Массив Кихпиныч состоит из нескольких разнородных и разновозрастных сооружений. Вулкан Старый Кихпиныч образовался до этапа мощных игнимбритообразующих извержений и кальдерообразования в Восточной вулканической зоне, произошедших 23-40 тысяч лет назад (Брайцева и др., 1985, 1991). Постройка вулкана Старый Кихпиныч (СК) служит основанием для двух голоценовых базальтовых конусов Молодого Кихпиныча и для расположенного несколько южнее позднеплейстоценового дацитового вулкана Сопка Желтая. Вулкан Молодой Кихпиныч состоит из конуса Западный (возраст 4.8 тыс. лет), и конуса Савича (1.4 тыс. лет), последнее извержение которого было 400-540 лет назад (Брайцева и др., 1985, 1991; Пономарева и др., 1990). Эти конуса образовались после длительного перерыва (десятки тысяч лет) в вулканической деятельности вулкана Старый Кихпиныч (СК), который сложен чередующимися высокоглиноземистыми (до 20-21.5 % Al_2O_3) толеитовыми низкотитанистыми базальтами и их агломератовыми туфами, сильно измененными гидротермальными процессами.

В районе КДВЦ обнаружено большое разнообразие современных хемогенных осадков. Это глиноземистые, железистые, марганцовистые, кремнистые, карбонатные и серные осадки. Среди хемогенных осадков глиноземистые осадки (ГО) представляют наибольший интерес, так как они по химическому составу соответствуют бокситам. Ранее в статье О.Ф. Кардановой, Г.А. Карпова (2000) были рассмотрены условия образования и типы парагенетических ассоциаций ГО в районе КДВЦ.

Роль вулканизма в бокситообразовании рассматривается обычно в двух аспектах: вулканизм - как поставщик высокоглиноземистого вещества в виде лав, туфов, а также соединений, растворенных в гидротермальных водах, и опосредованное влияние вулканизма - путем создания локальных специфических физико-химических сред, частично или полностью изменяющих характер гипергенеза. Б.М. Михайлов (1975) отрицал образование бокситов с участием ультракислых гидротермальных растворов

путем выпадения гидроокиси Al из этих растворов, основной проблемой при этом являлось удаление Si из процесса. По мнению В.А. Тенякова (1975) «исследователи, апеллирующие к неким гипотетическим гидротермальным растворам как к возможному источнику бокситового вещества, не указывают ни одного современного геологического и химического типа их проявлений, выносящих хоть сколько-нибудь сходное с бокситами (в химическом отношении) вещество». Химический состав ГО КДВЦ (табл. 1), восполняют этот пробел.

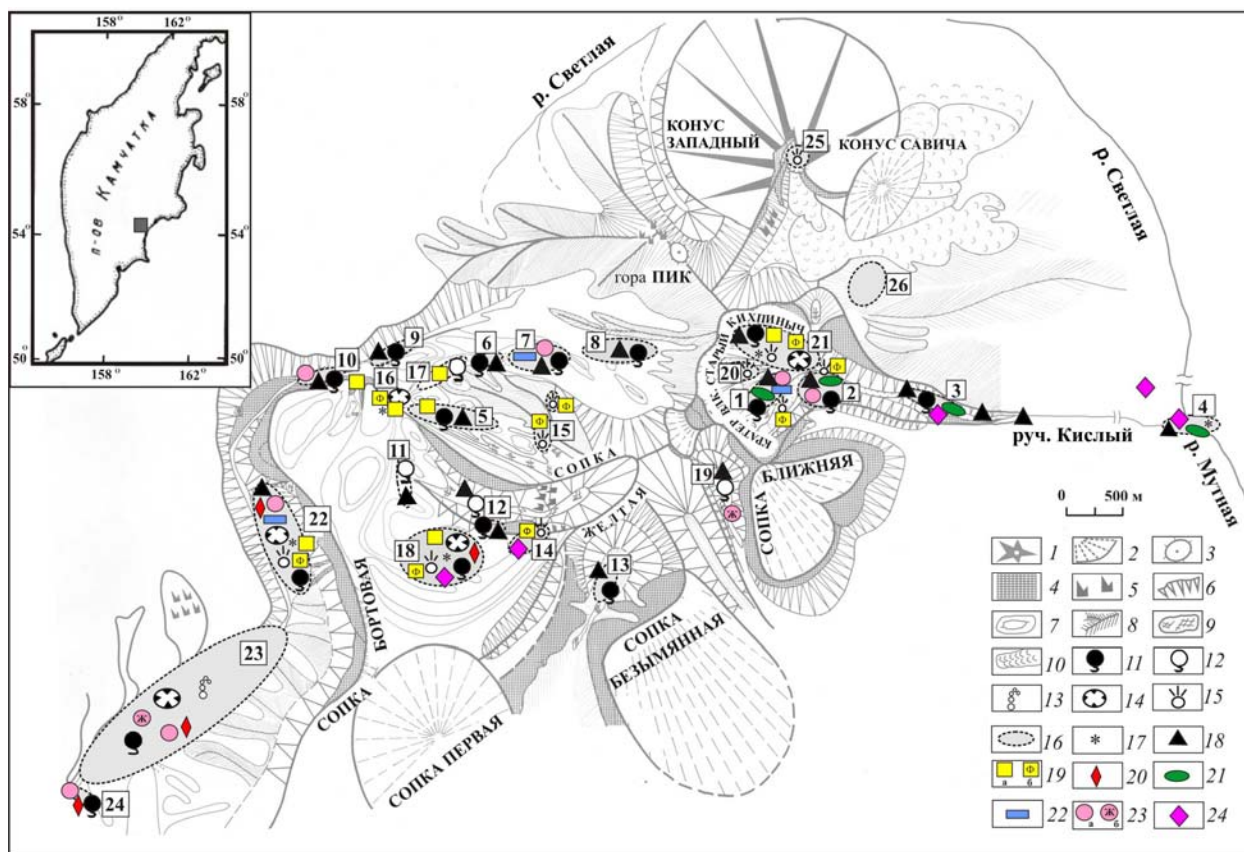


Рис. 1. Хемогенные осадки в районе КДВЦ. Условные обозначения: 1 – лавовые конусы; 2 – лаво-пирокластические конусы; 3 – вершины; 4 – отвесные склоны; 5 – отдельные скалы; 6 – крутые склоны; 7 – горизонталы; 8 – водоразделы; 9 – снежники; 10 – лавовые потоки; 11 – теплые и горячие источники; 12 – холодные источники; 13 – гейзеры; 14 – котлы; 15 – паровые струи; 16 – термальные поля (цифра – номер поля); 17 – границы полей с холодными источниками. Типы хемогенных осадков: 18 – железистые: а – гидроокислы, б – сульфиды; 19 – серные: а – осадки в источниках, б – сольфатарная сера; 20 – кремнистые; 21 – глиноземистые; 22 – марганцовистые; 23 – карбонатные: а – осадки, б – жилы; 24 – каолиновые глины. Термальные поля: 1 – Южное (СК); 2 – Восточное (СК); 3 – «Щеки», восточный склон СК, русло ручья Кислый; 4 – исток р. Мутная; 5 – Каменный Карман; 6 – Теплое; 7 – Травертиновое; 8 – Перевальное; 9 – ручей Прозрачный; 10 – «Колорадо»; 11 – холодные источники Новые; 12 – горячий источник Новый; 13 – исток ручья Короткий Ключ; 14 – Вершинное; 15 – Северо-Кихпинское; 16 – Долина Смерти; 17 – Серное (холодное); 18 – ЮКТП; 19 – источники в верховье ручья Извилистый; 20 – Западное; 21 – Северное (СК); 22 – Верхне-Гейзерное; 23 – Долина Гейзеров; 24 – ручей Второй (в ~ 0,5 км от гейзера Первенец вниз по р. Шумная); 25 – Конус Савича; 26 – Склоновое. На врезке показано расположение района исследований.

На КДВЦ существуют гидротермальные растворы, являющиеся источником бокситового вещества и на рис. 1 и 2 показаны ТП, где обнаружено несколько химических типов ГО, имеющих химический состав бокситов (табл. 1). Только привлекая вулканогенную, хемогенную и гидротермальную теории, а также процесс латеритизации,

Таблица 1. Сравнение химического состава современных осадков Кихпиньского долгоживущего вулканического центра (КДВЦ) и бокситов Енисейского кряжа. Северного Урала и Средней Азии (вес. %).

Компоненты	Глиноземистые осадки								Латеритные бокситы			Осадочные бокситы			
	Кратер вулкана Старый Кихпиньч							Истоки реки Мутной	Енисейский кряж			Северный Урал			Средняя Азия
	Южное поле						Восточное		Лизалек и др.. 1979			Новиков. 1978			Богатырев 1980
	1997 г.				1982 г.		1981 г.	1982 г.							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	15016	1536	1538	1539	1023	1023в	825	1047в ₂	ЕК-1	ЕК-2	ЕК-3	СУ-1	СУ-2	СУ-3	СА - 1
SiO ₂	8.24	5.18	4.23	7.17	12	9.62	23.6	13.1	16.7	13.9	19.06	10.46	5	4.9	11.72
TiO ₂	0.08	0.1	0.18	0.15	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	3.9	3.94	3.04	1.79	2.9	2.13	1.66
Al ₂ O ₃	42.96	39.47	39.48	39.75	35.64	35.3	28.06	25.65	27.24	36.62	46.85	36.19	36.8	47.11	37.15
FeO + Fe ₂ O ₃	3.86	7.78	9.83	6.72	7.24	9.12	10	24.28	35.38	28.7	8.6	21.77	29.95	25.14	25.14
CO ₂	5.28	13.2	4.4	3.52	1.58	2.2	0	1.32	13.76	16.8	21.74	9.35	3.5	21.06	12.7
H ₂ O ⁻ + H ₂ O ⁺	36.45	31.82	41	40.78	40.94	40.7	34.2	32.75				17.94	17.45		8.08
Прочие	3.37	1.97	1.39	2.29	2.73	2.54	4.31	3.02	3	0.1	0.7	1.38	3.86	0.37	3.27
Сумма	100.24	99.52	100.51	100.38	100.13	99.47	100.17	100.12	99.98	100.06	99.99	98.88	99.46	100.71	99.72

Примечание. Прочие компоненты: MnO + MgO + CaO + Na₂O + K₂O + P₂O₅. Тип бокситов по классификации Бардошши (1981), которому соответствуют глиноземистые осадки: 1-6 – боксит; 7 - глинистый боксит; 8 - Fe боксит. Месторождения бокситов: 9 - Восточное (Fe боксит); 10 - Митрофановское (Fe боксит); 11 - Сухое (боксит); 12 - Ишкининское (боксит); 13 - Актогайское (бобовый боксит); 14 - там же (бобово-обломочный); 15 - Янгоклыкское (боксит). Аналитики: Осетрова Т.Г. (№ 1-4), Байцаева Л.Г. (№ 5-8) (Институт вулканологии ДВО РАН).

который имеет свою специфику, можно объяснить образование ГО в районе КДВЦ. Изучение осадков на вулкане Кихпиныч доказало возможность образования протобокситов хемогенным путем. В кратере вулкана Старый Кихиныч, находящимся в сольфатарной фазе активности, на термальных полях идет химическое осаждение ГО. Ультракислые воды ($pH < 3$) обычно связаны с окислением фумарольной серы, пирита и других дисульфидов, приводящим к образованию серной кислоты. На **ТП 1** в результате взаимодействия сернистых газов сольфатар с многолетними снежниками образуются ультракислые воды («из-под снежника») с $pH < 3$. Не исключено, что это может быть кислый термальный источник, каких много на **ТП 21**. Но за всё время наблюдений (1980-1997 гг.) кислая вода на **ТП 1** всегда поступала из-под снежника.

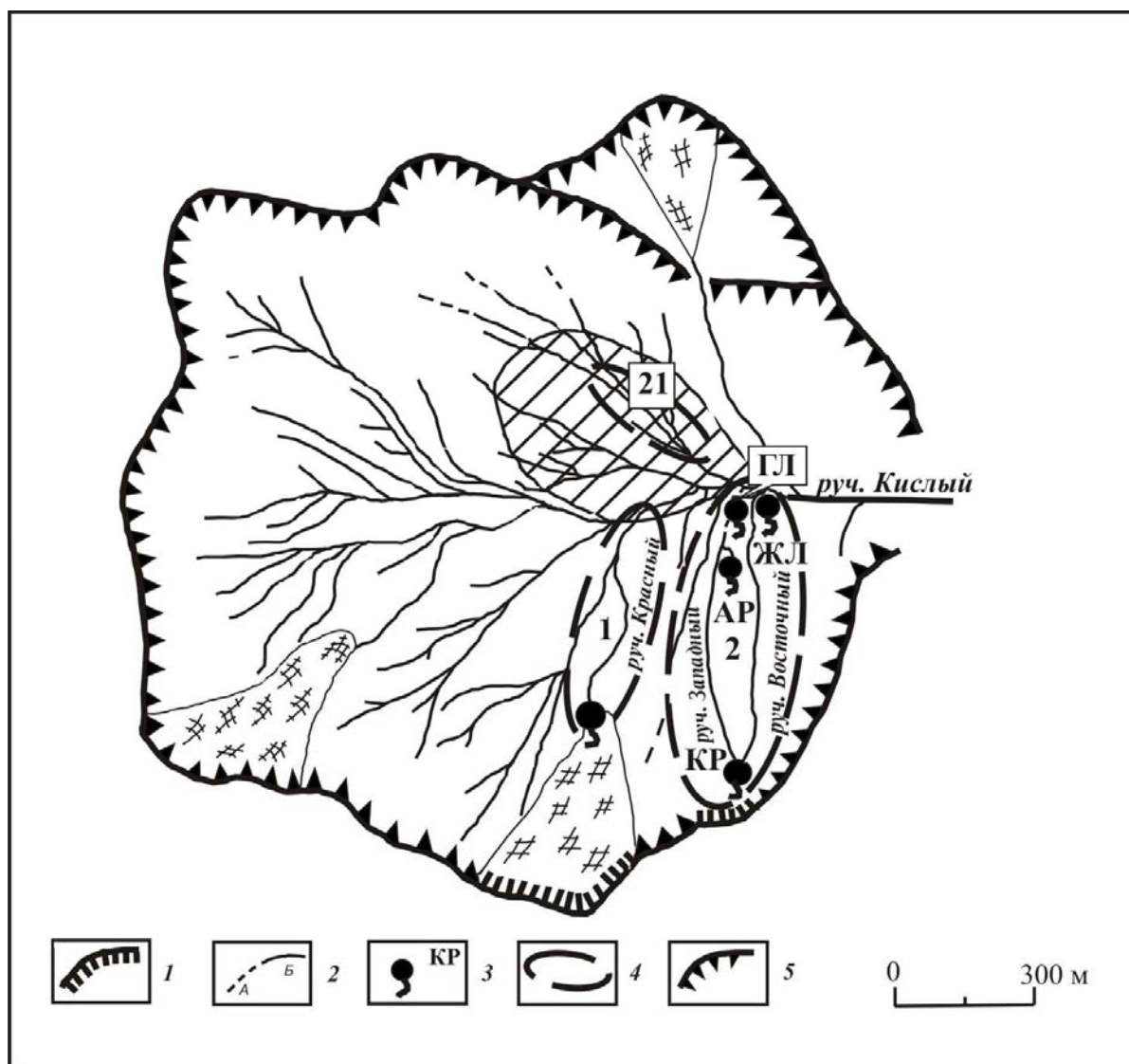


Рис. 2. Схема расположения источников и термальных полей в кратере вулкана Старый Кихпиныч. Условные обозначения: 1 – отвесные склоны; 2 – водотоки: А – временные, Б – постоянные; 3 – источники (КР – Карбонатный, АР – Арагонитовый, ГЛ – глиноземистый, ЖЛ – Железистый); 4 – контуры термальных полей (1 – Южное, 2 – Восточное, 21 – Северное); 5 – крутые склоны. Штриховка – материал обрушения 1982 г.

В районе КДВЦ в образовании ГО, имеющих состав бокситов, участвуют три из «гипотетических процессов» Б.М. Михайлова (1975), но имеющие некоторые особенности. Это три первых варианта образования ГО на КДВЦ.

**ОБРАЗОВАНИЕ ГЛИНОЗЕМИСТЫХ ОСАДКОВ В КРАТЕРЕ ВУЛКАНА
СТАРЫЙ КИХПИНЫЧ В 1997 Г. (ЮЖНОЕ ПОЛЕ)**

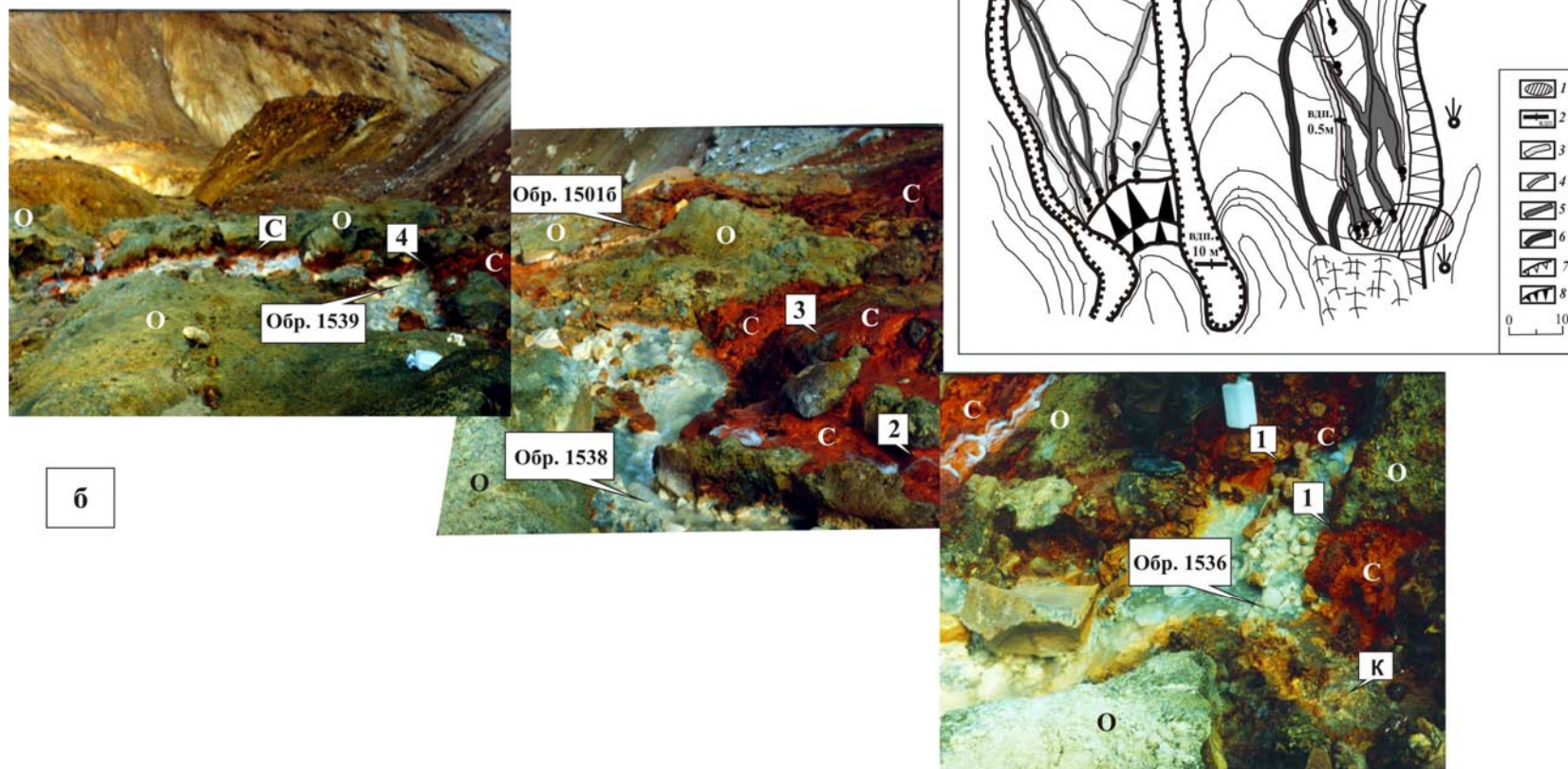


Рис. 3. Хемогенные осадки на Южном термальном поле в кратере вулкана Старый Кихпиныч. *a* - схема Южного поля в 1982 г.: 1 - оплывина 1981 г., 2 - водопад; 3-5 - осадки из нейтральных вод (3 - глиноземистые, 4 - Fe-Al; 5 - железистые); 6 - Fe осадки из кислых вод; 7 - крутые склоны гривки и оврага; 8 - материал оползня 1980 г.; горизонтالي проведены через 2 м. Остальные условные обозначения см. рис. 1. *б* - Южное поле в 1997 г.: К - кислый ручей «из-под снежника», С - сидерогель на устьях источников, О - гидротермально измененные породы оползня 1997 г. Цифры 1-4 - ступени разбавления кислой воды «из-под снежника» субщелочной водой источников. Белый осадок в русле ручья - алюмогель, имеющий состав боксита (химический состав образцов приведен в табл. 1).

Вариант I - соединение ультракислых вод со щелочными водами – особенностью является высокое содержание в воде, в зоне смешения водотоков, ионов Са и Mg, которые препятствуют кристаллизации каолинита из аморфного вещества и благодаря этому обеспечивают вынос кремнезема (Бардошши, 1981). В кратере вулкана Старый Кихпиньч этот процесс наиболее наглядно наблюдается на Южном поле (рис. 3а, 3б). В этом случае поставщиком Al является кислая вода, а Са, Mg - вода термальных источников. На **ТП 1** в 1982 и 1997 гг. наблюдалось ступенчатое разбавление кислого раствора (pH 2.5-3) «из-под снежника» субщелочной (pH 7-8) водой термальных источников (рис. 3а, 3б), результатом которого было образование протобокситового вещества. Соотношение кислого и субщелочного водотоков ~ 1:5. В ГО сульфаты отсутствуют. На протяжении 18 лет (1980-1982, 1997) в зоне смешения кислых вод «из-под снежника» с субщелочными водами источников наблюдалось образование ГО, несмотря на оплывины и оползни, перекрывавшие иногда устья источников.

Вариант II - выпадение ГО из ультракислых растворов на карбонатном субстрате наблюдалось в 1981 г. на Восточном поле. На **ТП 2** в зоне смешения кислой воды небольшого ручейка, выбивающегося из-под осыпи на границе с карбонатным осадком ручья Западного (рис. 2), и небольшого субщелочного источника (источник Глиноземистый), шло образование слоистого ГО на карбонатном субстрате (рис. 4). Последний являлся донным осадком ручья Западного. Слоистые ГО состоят из алюмогеля, сидерогеля, каолинита и алунита. Когда этого источника достигает щелочная вода источника Западный, алунит в осадке исчезает. С поступлением новой порции субщелочной воды в действие вступает вариант I. В этом случае соотношение водотоков примерно 1:1, в отличие от первого варианта, но карбонатный субстрат, на поверхности которого осаждается ГО, увеличивает «щелочной ресурс». Поставщиком Al как и в первом варианте, является кислая вода, а Са и Mg – субщелочной источник и карбонатный осадок.

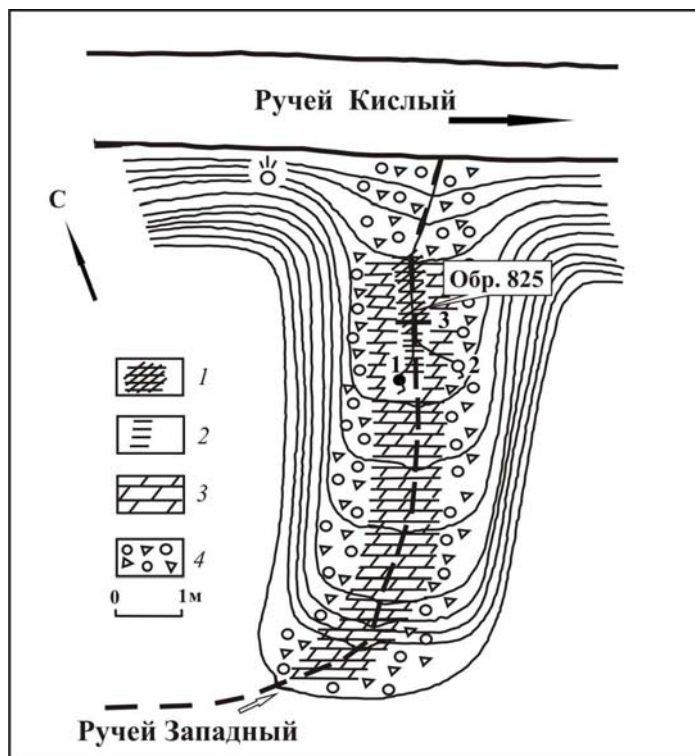


Рис. 4. Восточное поле, источник Глиноземистый. Условные обозначения: 1 - глиноземистые осадки; 2 – железистые осадки; 3 – карбонатные; 4 – осыпь. Источники: 1 - субщелочной; 2 – кислый; 3 – зона смешения субщелочного и кислого источников. Цифра в прямоугольнике – номер образца (см. табл. 1)

Вариант III реализуется на **ТП 4** (исток реки Мутной), в зоне смешения кислых вод ручья Кислого (рН 2.68-2.86), выносящего Al, Ca, Mg и субщелочных вод реки Светлой (рН>7), где на щелочном барьере происходит осаждение ГО. Соотношение водотоков - кислого и субщелочного - 1: ≥ 5 . Расположение водотоков на местности показано на рис. 5.

В 1982 г. в зоне смешения водотоков встречены хемогенные осадки 4 типов. Осадок в русле ручья Кислого (обр. 1047 б, рис. 6) состоял из гетита, алунита, ярозита и опала. В зоне непосредственного контакта водотоков наблюдались турбулентные завихрения, имеющие разное направление. Они были вызваны разностью в скорости водотоков, их температуре ($>5^{\circ}\text{C}$) и значительными отличиями в гидрохимическом составе воды водотоков. На дне реки Мутной, на глубине ~ 0.8 м, непосредственно под зоной турбулентных завихрений, выпадал белый глиноземистый осадок (обр. 1047 в₂, табл. 1), который прослеживался на расстоянии 50-60 м (рис. 6), ширина зоны 0.3–0.4 м. Скорость течения в ручье Кислом была 1 м/сек., в реке Светлой – заметно выше. Водотоки смешивались под углом $\sim 30^{\circ}$. Поверхность непосредственного контакта водотоков была весьма большой. За этой узкой полосой ГО шло бурное осаждение хлопьев железистого осадка (обр. 1047 в₃, рис. 6), состоящего из гетита, алунита и аморфного кремнезема.



Рис. 5. Вид на ручей Кислый и реку Мутную с южной кромки кратера вулкана Старый Кихпиныч. 1 – река Светлая; 2 – ручей Кислый; 3 – исток реки Мутной (зона смешения водотоков реки Светлой и ручья Кислого); 4 – река Мутная; 5 – устье реки Мутной.

Четвертый тип осадка, образующийся из воды реки Мутной (пр. 1048, рис. 6), имел вид пены розового цвета и был недоступен для отбора. Этот осадок осаждался также в зонах повышенной аэрации и турбулентных завихрений - на ветках и стволах кустарников и деревьев, выступающих из воды. Подобные осадки встречались и в 1997 г. в аналогичных условиях. Их химический состав следующий: SiO_2 - 17%; Al_2O_3 - 14 %; Fe_2O_3 - 33 %; CO_2 - 1 %; H_2O - 34%. Содержание CaO, MgO, Na_2O , K_2O – 1 %.

Вариант IV был обнаружен на **ТП 3** (рис. 1) в каньоне «Щеки». Здесь, на 1.5 м террасе ручья Кислого, на расстоянии ~ 200 м выходило более 20 мелких источников с температурой около 30°C . Разбавленные Cl-Na термальные воды источников с высоким содержанием Ca и Mg выносили кремний из галлуазитового цемента конгломерата,

оставляя на месте свободный глинозем. На этом поле расчетная базовая температура на глубине по различным гидрохимическим термометрам (Na/K, Na/K/Ca, K/Mg, Фурнье) составляет ~ 120-150°C.

Химический состав глиноземистых осадков КДВЦ близок к бокситам Северного Урала, Енисейского кряжа и Средней Азии (табл. 1). Основное отличие - в ГО вдвое больше H_2O и на порядок меньше - TiO_2 . В таблице 2 приведены различные виды глиноземистых осадков, соответствующих определенным типам бокситовых пород по классификации Д. Бардоши (1981).

Латеритизация - процесс преобразования алюмосиликатов нисходящими токами теплой дождевой воды в условиях хорошего дренажа (Бушинский, 1975). Как известно, влияние тропических температур на латеритизацию заключается в ускорении химического выветривания. Особенностью латеритизации на **ТП 3** является вынос кремния из галлуазита, осуществляющийся восходящими токами теплой термальной воды источников. Пример тому – вариант IV, где в холодном климате Камчатки на алюмосиликаты воздействуют субщелочные Cl-Na разбавленные термальные воды с высоким содержанием Ca и Mg.

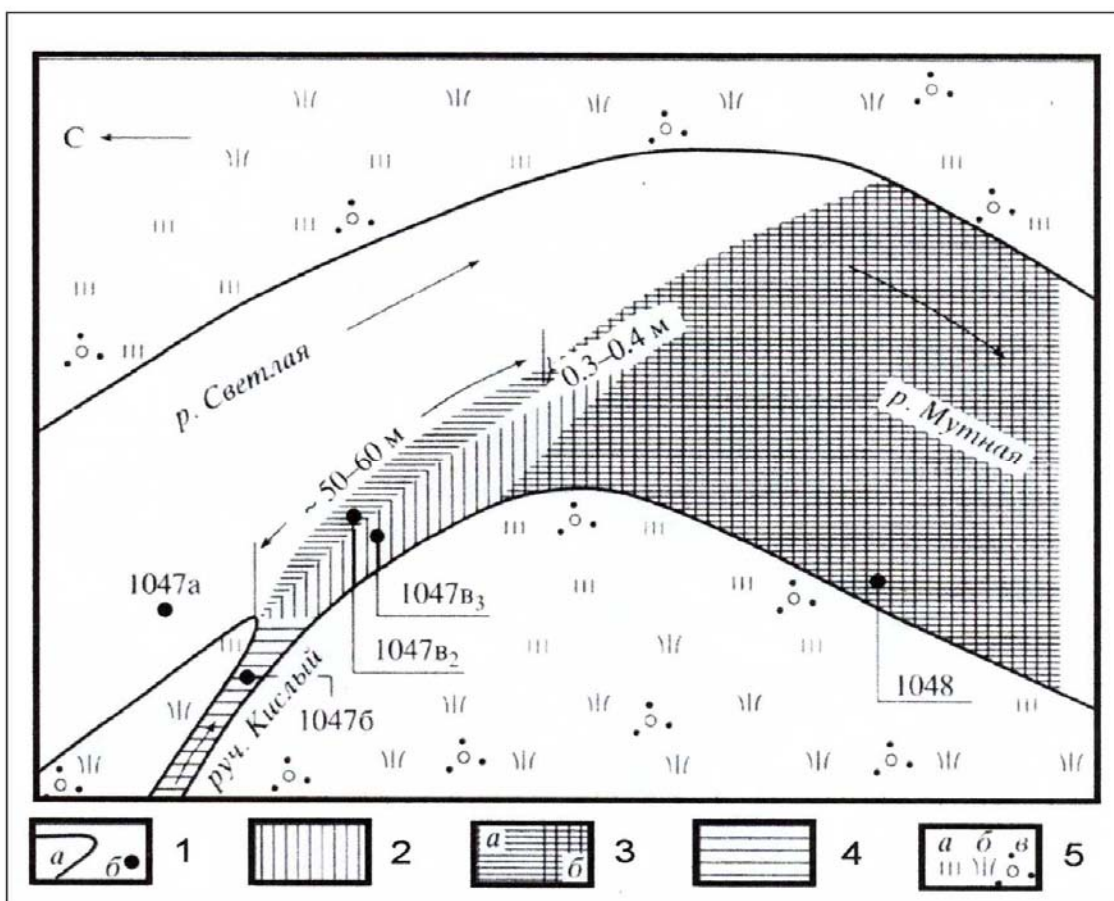


Рис. 6. Схематическая карта зоны смешения водотоков реки Светлой и ручья Кислого, 1980-1982 гг. Условные обозначения: 1 – водотоки (а – береговая линия, б – точки опробования и их номера); 2-4 – хемогенные осадки (2 – Fe из субщелочных вод, 3а – Al, 3б – Fe-Al); 4 – Fe из кислых вод; 5 – растительность (а – травянистая, б – камыш, в – кустарники).

В заключение отметим основные особенности образования протобокситового вещества на КДВЦ. Вместо карбонатных толщ на **ТП 1** имеем карбонатизированные базальтовые туфы. Карбонатизация базальтовых туфов южного склона вулкана Старый Кихпинич происходила в зоне вскипания термальных вод во время длительного перерыва

в деятельности вулкана (см. выше). Вместо влажного и сухого сезонов существует весенне-летний сезон и осенне-зимний. В первом случае открыты термальные поля, идет таяние снежников, являющихся поставщиками кислой воды с Al и в зоне смешения этой воды с водой источников образуются ГО. В осенне-зимний сезон, когда термальные поля закрыты снегом и нет поступления кислой воды с Al, идет образование гидроокислов железа, перекрывающих ГО. Сольфатары являются поставщиками серной кислоты, которая, воздействуя на алюмосиликаты, разрушает эти минералы, освобождая глинозем. Аналогично действуют и грунтовые воды, взаимодействуя с сульфидами измененных под действием гидротерм пород.

Состав продуктов химического осаждения зависит от соотношения мольных концентраций реагирующих веществ (Вассерман, 1980). При избытке ионов металла, наряду с гидроксидами алюминия образуются промежуточные продукты - основные соли, что и имело место на Южном поле. В 1980 г. в ручей с дебитом более 1 л/сек и pH ~ 8 (концентрация OH⁻ порядка 10⁻⁶ г-ион/л) впадал кислый малodeбитный ручей «из-под снежника» с концентрацией Al³⁺ 11 мг/л (0.41x10⁻³ г-ион/л). Мольная концентрация Al³⁺ в данном случае на 3 порядка превосходит концентрацию OH⁻, содержание SO₄⁻² велико, этим и объясняется присутствие алуниита в осадке (обр. 729, табл. 2). В 1982 г. концентрация в воде Al³⁺ была 7x10⁻⁶ г-ион/л и OH⁻ - 8x10⁻⁶ г-ион/л. Концентрации Al³⁺ и OH⁻ практически равны, благодаря чему в этих образцах наибольшее количество алюмогеля, сульфат в осадке отсутствует (обр. 1023, 1023в, табл. 2).

Именно высокое содержание ионов Ca²⁺ (до 557 мг/л) и Mg²⁺ (до 112 мг/л) в воде препятствует кристаллизации каолинита из аморфных гелей, осаждающихся на дне водотоков, и ведет к выносу кремнезема из зоны образования ГО.

Таблица 2. Типы глиноземистых осадков КДВЦ

Тип боксита (Бардошши, 1981)	Тип	№ обр.	Соотношение компонентов в воде (с полевыми замерами Fe ²⁺ и Fe ³⁺), мг-экв.	Минералы, преобладающие в отдельных типах осадков КДВЦ
Боксит	I	1023в	SO ₄ >>HCO ₃ >Cl>F	алюмогель>каолинит>сидерогель (скарброит, кальцит)
		1023	Ca>Mg>Na>NH ₄ >Fe ³⁺ >Fe ²⁺ >Mn>K>Al	
		15016	SO ₄ >>HCO ₃ >Cl>F	
		1536 1538 1539	Ca>Mg>Fe ²⁺ >Na>Mn>K>Fe ³⁺ >NH ₄ , Al	
Боксит железистый	II	1047в ₂	SO ₄ =Mg>Cl>F	алюмогель>сидерогель>каолинит (сидерит, дельвоксит)
			Ca=Mg>Na=NH ₄ >Fe ²⁺ >K>Fe ³⁺ , Al	
Боксит глинистый	III	825	SO ₄ >>HCO ₃ >Cl>F	каолинит>алюмогель>сидерогель
			Ca>>Mg>Na>NH ₄ >K	
Боксит с алунином	IV-A	802	SO ₄ >>F>Cl=HCO ₃	алюмогель>алуниит>каолинит> >сидерогель
			Ca>Mg>Fe ²⁺ >Na=NH ₄ >H>Al>Mn>Fe ³⁺ >K	
Боксит с алунином	IV-B	729	SO ₄ >>HCO ₃ >Cl>F	алюмогель>скарброит> сидерогель>алуниит (каолинит)
			Ca>Mg>>Na>NH ₄ >K>Al>Fe ²⁺ , Fe ³⁺	
Боксит с алунином	IV-C	10296	SO ₄ >>HCO ₃ >Cl>F	алюмогель>алуниит>сидерогель (каолинит, кальцит, гипс)
			Ca>Mg>Na>>NH ₄ >K>Mn>Al	
Руды железные Глинистые	V	1022	SO ₄ >>Cl=HCO ₃ >F	сидерогель>каолинит>алюмогель (кальцит)
			Ca>Mg>>Na>NH ₄ >>Mn>K>Al, Fe ²⁺ , Fe ³⁺	
Глина железистая	VI	1028	SO ₄ >>HSO ₄ >F>Cl	каолинит>сидерогель (гипс, опал, скарброит, кальцит, фосфаты)
			Ca>Mg>Na>H>Al>NH ₄ >Fe ³⁺ >K=Mn>Fe ²⁺	

Примечание. Жирным шрифтом выделены основные минералы, в скобках – второстепенные.

Список литературы

- Аверьев В.В., Богоявленская Г.Е., Брайцева О.А. и др.* Вулканизм и гидротермы Узон-Семячинского геотермального района на Камчатке // Вулканизм и глубины земли. М.: Наука, 1971. С. 207-211.
- Бардошии Д.* Карстовые бокситы. М.: Мир, 1981. 454 с.
- Белоусов В.И.* Геология гидротермальных полей в областях современного вулканизма. М.: Наука, 1978. 137 с.
- Белоусов В.И., Гриб Е.Н., Леонов В.Л.* Геологические позиции гидротермальных систем Долины Гейзеров и кальдеры Узон // Вулканология и сейсмология. 1983. № 1. С. 65-79.
- Брайцева О.А., Богоявленская Г.Е., Эрлих Э.Н.* Геологическое строение Узонско-Гейзерной депрессии // Вулканизм, гидротермальный процесс и рудообразование. М.: Недра, 1974. С. 10-32.
- Брайцева О.А., Флоренский И.В., Волинец О.Н.* Вулкан Кихпинич // Действующие вулканы Камчатки. М.: Наука, 1991. Т. 2. С. 74-91.
- Брайцева О.А., Флоренский И.В., Пономарева В.В. и др.* История активности вулкана Кихпинич в голоцене // Вулканология и сейсмология. 1985. № 6. С. 3-19.
- Бушинский Г.И.* Современное состояние проблемы генезиса бокситов // Проблемы генезиса бокситов. М.: Наука, 1975. С. 5-17.
- Вассерман И.М.* Химическое осаждение из растворов. Л.: Химия, 1980. 207 с.
- Карданова О.Ф., Карпов Г.А.* Условия образования и типы парагенетических ассоциаций глиноземистых осадков Кихпиничского долгоживущего вулканического центра (Камчатка) // Вулканология и сейсмология. 2000. № 3. С. 15-34.
- Комаров В.Л.* Путешествие по Камчатке в 1908—1909 гг. Избранные сочинения. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1950. Т. 6. 527 с.
- Леонов В.Л.* Геологическое строение каньона р. Шумной и Узонско-Гейзерной депрессии на Камчатке // Вулканология и сейсмология. 1982. № 2. С. 100-103.
- Леонов В.Л., Гриб Е.Н.* Структурные позиции и вулканизм четвертичных кальдер Камчатки. Владивосток: Дальнаука, 2004. 189 с.
- Михайлов Б.М.* Эволюция обстановок бокситообразования в геологической истории Земли // Проблемы генезиса бокситов. М.: Наука, 1975. С. 41-78.
- Набоко С.И.* Металлоносность современных гидротерм в областях тектономагматической активности. М.: Наука, 1980. 199 с.
- Пономарева В.В., Брайцева О.А.* Вулканическая опасность для района Кроноцкое озеро – Узон – Долина Гейзеров // Вулканология и сейсмология. 1990. № 1. С. 27-42.
- Сугрובה Н.Г.* Некоторые закономерности режима гейзеров на Камчатке // Вулканология и сейсмология. 1982. № 5. С. 35-48.
- Теняков В.А.* Проблема источника и способа формирования вещества бокситов (геохимический аспект) // Проблемы генезиса бокситов. М.: Наука, 1975. С. 18-31.

ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОСА В ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ГИДРОТЕРМАЛЬНЫХ СИСТЕМАХ

Кирюхин А.В.

Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Россия, e-mail: avk2@kscnet.ru

Введение

Исследования тепломассопереноса в высокотемпературных гидротермальных системах, являются уникальной возможностью для проверки и развития теоретических основ термофлюидогеодинимики на примере объектов, находящихся в экстремальных гидрогеологических условиях.

В этой связи анализ данных по термогидродинамическому и газогидрохимическому режиму, полученных при эксплуатации Паужетского геотермального месторождения в 1960-2006 гг., и последующее термогидродинамическое моделирование привели к получению следующих результатов (Kiryukhin et al. 2004, 2008):

1. Уточнена концептуальная гидрогеологическая модель Паужетского геотермального месторождения; установлено, что в процессе его эксплуатации происходит постепенное охлаждение резервуара за счет инфильтрации в него охлажденных вод по каналам, служившим в естественных условиях проводниками разгрузки термальных источников и гейзеров на поверхность Земли.

2. Построена трехмерная численная термогидродинамическая TOUGH2-модель геотермального месторождения.

3. Выполнена калибровка модели по данным естественного состояния и эксплуатации Паужетского геотермального месторождения 1960-2006 гг. (всего использовано 13675 калибровочных точек) и осуществлено решение обратных многопараметрических задач.

4. Установлены источники формирования эксплуатационных запасов Паужетского геотермального месторождения (в расходном балансе 25.7% составляют естественные и привлекаемые ресурсы глубинного теплоносителя, 30% - инфильтрация холодных метеорных вод, 36.0% - упругая емкость гидротермального резервуара (в том числе 15.3% - из «трещин» и 20.7% - из матричного пространства) и 8.3% - реинжекция).

5. Прогнозное численное моделирование до 2032 г. показывает возможность стабильного получения пара со средним расходом 29 кг/с (пароводяной смеси 288 кг/с) при условии последовательного бурения и ввода в эксплуатацию пяти дополнительных скважин и оптимизации потерь давления от скважин до сепараторов, т.е. при используемой технологии эксплуатации возможно обеспечение пара для ГеоЭС 6.8 МВт, при использовании более эффективных технологий преобразования пара в электроэнергию – до 14 МВт (бинарные технологии или применение специализированных турбин).

По Мутновскому геотермальному месторождению установлено следующее (Кирюхин и др., 1996, 2004, 2005, 2006):

1. Уточнена концептуальная гидрогеологическая модель участка Дачный Мутновского геотермального месторождения, продуктивный резервуар (продуктивная зона «Основная») приурочен к разломной зоне северо-северо-восточного простираия, падением 60° на восток-юго-восток и средней вертикальной мощностью около 240 м.

2. Построена численная термогидродинамическая TOUGH2-модель участка Дачный, включающая продуктивную зону «Основная» и массив вмещающих горных пород, результаты моделирования и анализ газогидрохимических данных свидетельствует, что в процессе эксплуатации происходит интенсификация кипения в двухфазном геотермальном резервуаре и приток в него метеорных вод из вышележащих горизонтов.

3. TOUGHREACT-моделирование термогидродинамических-химических условий восходящей фильтрации теплоносителя в продуктивной зоне показывает образование вторичных минералов (вайрацит, кварц, К-полевой шпат и хлорит), что подтверждается прямыми наблюдениями. Моделирование показывает также, что образование вторичных гидротермальных минералов может привести в естественных условиях к заполнению трещин и существенному снижению пористости в течение первых сотен лет.

4. За период наблюдений за изменением давления в высокотемпературном гидротермальном резервуаре Мутновского геотермального месторождения в 1995-2006 гг. выявлены семь краткосрочных гидродинамических аномалий, предшествующих сейсмическим событиям (из них пять аномалий, характеризующихся средним снижением давления на 0.10-4.0 бар за 1.5-4 часа до землетрясений с $M = 4.1-5.7$ на глубинах до 41 км и на расстоянии до 234 км от точки наблюдений, и постсейсмическими циклическими вариациями давления).

Исследования термогидродинамических условий и последствий обвала 3 июня 2007 г в Долине Гейзеров (Камчатка) (Droznin et al. 2007) необходимы для того, чтобы предвидеть подобные события в будущем, понимать какие наблюдения могут дать информацию о готовящейся новой катастрофе и какие меры возможны для уменьшения возможного ущерба. Ниже остановимся более детально на анализе гидрогеологической ситуации в гидротермальной системе Долины Гейзеров.

Концептуальная гидрогеологическая модель условий, предшествующих катастрофическому обвалу 3 июня 2007 г в Долине Гейзеров

Обвал 3 июня 2007 г в Долине Гейзеров на Камчатке не явился неожиданным для региона, в котором постоянно извергаются 2-3 вулкана и ежегодно происходит 1-2 землетрясения с магнитудой более 6.0. Однако неожиданным явилось то место в Долине Гейзеров, в котором этот оползень произошел - бассейн ручья Водопадного, не характеризующийся такими крутыми склонами и такой интенсивной гидротермальной деятельностью, как река Гейзерная в ее среднем и нижнем течении.

Ключевым вопросом является поэтому вопрос - почему 3 июня 2007 г оползень, сопровождаемый мощным выбросом пара в зоне отрыва (Д. Шпиленок, личн. сообщ., 2007), преобразовался в обломочно-грязевой поток и за 2 минуты переместил около 20 млн. м³ горных пород (В.Н. Двигало, 2008).

На основе интегрированного анализа геологической карты бассейна реки Гейзерной (1: 10 000), составленной В.Л. Леоновым, и гидрогеологической информации по известным и новообразованным источникам, предложена концептуальная гидрогеологическая модель гидротермального резервуара и связанных с ним процессов тепломассопереноса, которые привели к насыщению зоны отрыва оползня 3.06.07 пароконденсатными водами с последующей потерей устойчивости блока горных пород.

В электронном издании книги В.М. Сугробова, Н.Г. Сугробовой, Г.А. Карпова, В.Л. Леонова (2004) изложена гидрогеологическая модель гидротермальной системы Долины Гейзеров, которая объясняет условия формирования и разгрузки гейзеров, кипящих источников и паровых струй, размещенных в бассейне реки Гейзерной.

Нами рассматривается фрагмент гидротермальной системы Долины Гейзеров, а именно гидротермальный резервуар, обеспечивающий питание гейзеров и кипящих источников в нижнем и среднем течении реки Гейзерной (далее - гидротермальный резервуар). Оползневые процессы имели место на его кровле, сложенной преимущественно Гейзерной пачкой (Q_3^4 grn) озерно-кальдерных отложений (пемзовые туфы, туфогравелиты, туфопесчаники, линзы брекчий), выполняющих роль верхнего относительного водоупора и характеризующихся углом падения на северо-запад 8-25° (рис. 1). Поэтому восходящий поток глубинного теплоносителя на контакте подошвы Гейзерной пачки и кровли Устьевой пачки разделяется на водную фазу, движущуюся по

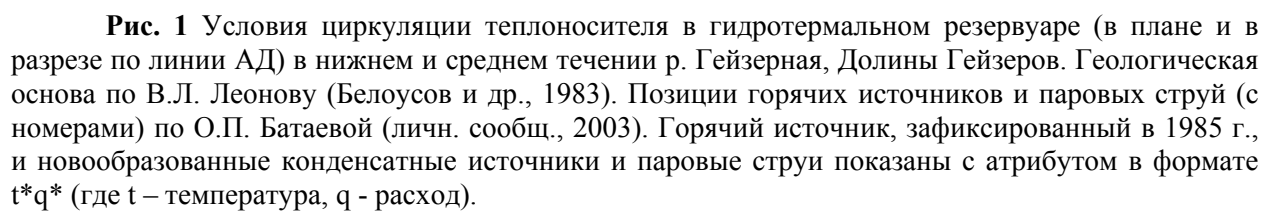
падению контактовой зоны в западном направлении, и паровую фазу, движущуюся по восстанию контактовой зоны в юго-восточном направлении (рис. 1).

Западный преимущественно водный поток фиксируется разгрузкой гейзеров и горячих источников № 7, 16 – 41 хлоридного натриевого состава (с 3 июня 2007 г. часть этого расхода поступает в Подпрудное Озеро). Юго-восточный поток пара движется по восстанию контакта подошвы Гейзерной пачки и кровли Устьевой пачки в направлении северо-восточного борта оползня 3.06.07 и фумарол № 12 и 44.

Изложенная выше схема циркуляции потоков подтверждается следующими наблюдениями. Подошва верхнего относительного водоупора (Гейзерная пачка) вскрыта цирком отрыва оползня 3.06.07, а в месте вскрытия в 2007 г. образовались фумарольное поле и горячие источники с температурой 12-26°C и суммарным расходом около 30 л/с (рис. 1). По химическому составу вода источников соответствует конденсату пара смешанному с метеорными водами. В районе источников подошва верхнего водоупора (Гейзерной пачки) имеет падение на СЗ под углом 25°. Блоки раздробленных пород в верхней части оползня 3.06.07 полностью гидротермально изменены и представлены высококремнистым монтмориллонитом (Л.П. Вергасова, личн. сообщ., 2008). К этому следует добавить, что во время полевых исследований в 1985 г А.В. Кирюхиным был обнаружен горячий источник с температурой 45°C и расходом 0.5 л/с к юго-востоку от фумаролы № 12. Указанный источник (t45q05) был расположен на «необычно» высокой абсолютной отметке +670 м, вблизи эпицентра зоны отрыва оползня 3.06.07, происшедшего спустя 17 лет.

Таким образом, весь ареал распространения верхнего водоупора (Гейзерной пачки) к северу от границы оползня 3.06.07 пропаривается и насыщается конденсатом пара за счет восходящего движения пара по восстанию подошвы водоупора из основной продуктивной зоны (рис. 1). Стенка докальдерного комплекса блокирует распространение пара в восточном направлении, способствует образованию конденсата и направляет его сток в северо-восточный сектор цирка отрыва оползня 3.06.07, где в настоящее время осуществляется разгрузка в виде фумарольного поля и конденсатных источников. Кроме того, как уже отмечалось, разгрузка пара осуществляется частично в ослабленных зонах через кровлю верхнего относительного водоупора (паровые струи № 12 и 44, источник t45q05).

Из вышеизложенного вытекает, что катастрофический обвал 3.06.07 явился очередным этапом общего сценария постепенной паро-гидротермальной переработки Гейзерной пачки (Q_3^4 grn), слагающей кровлю гидротермального резервуара, с постепенным насыщением ее конденсатом пара и соответствующим снижением устойчивости к обрушению. С этой точки зрения следующим вероятным объектом обрушения может являться бассейн ручьев Щелевой и Ступенчатый, примыкающий с севера к оползню 3.06.07, и нависающий над гейзерами № 14-26, 40-41, включая гейзер Великан. Триггером такого обрушения могут быть геодеформационные процессы, связанные с повышением давления в магматической питающей системе Узон-Гейзерной депрессии, региональные землетрясения, извержения вулканов и внедрение даек, приливные и барометрические аномалии, насыщение влагой во время паводков, парогидротермальные взрывы, если давление пара превысит вес ослабленных пород (для пемзовых туфов условие парогидротермального взрыва при давлении пара 17.6 бар (соответствующего температуре 206°C, SiO₂-геотермометр) может возникнуть на глубине 150-200 м), давление большого количества снега в весенне-зимний период. Останцы Гейзерной пачки на западном склоне уступа докальдерного комплекса являются указателями предшествующих обрушений такого типа (рис. 1).



Периодичность извержений гейзеров Великан и Большой после обвала 3 июня 2007 г. Режим разгрузки гидротермальной системы в реку Гейзерная

Методика проведения наблюдений. Для регистрации периодичности извержений гейзеров Великан и Большой, начиная с августа 2007 г., использовались температурные логгеры НОВО U12-015. Технические характеристики прибора: температурный логгер НОВО U12-015 является одноканальным программируемым логгером, способным записывать в память до 43000 измерений в диапазоне температур от -40°C до 125°C с точностью 0.2°C , разрешающей способностью 0.025°C и временем инерционного запаздывания 3.5 мин (в воде). Запись температурных логгеров программировалась с интервалом 2-5 мин, логгеры устанавливались в каналах изливающейся из гейзеров воды, что позволяет однозначно определить время извержения гейзеров по последнему максимуму температуры перед ее абсолютным минимумом.

Для регистрации уровня озера и барометрического давления использована пара логгеров температуры и давления НОВО WATER LEVEL LOGGER U20-001-04. Поскольку озеро является проточным, то по полученным данным возможна также оценка расхода реки Гейзерной, при наличии графика зависимости расхода реки от уровня (ряд дискретных измерений расхода реки Гейзерной выполнен во время непрерывных наблюдений за уровнем озера). Технические характеристики прибора: логгер U20-001-04 давления и температуры является двухканальным программируемым логгером, способным записывать до 21700 измерений в диапазоне температур от -40°C до 75°C и давлений до 145 кПа (4 м водяного столба с учетом атмосферного давления). Точность измерения температуры 0.37°C , давления – 0.3 см вод. столба, разрешающая способность по температуре – 0.1°C , давлению – 0.14 см. вод. столба. Время инерционного запаздывания датчика давления составляет 1 сек., датчика температуры (в воде) – 3.5 мин. Один из логгеров U20-001-04 непосредственно записывал атмосферное давление, второй был подвешен через 50 мм кольцо в вертикальной трубе диаметром 40 мм, установленной в озере, и регистрировал суммарное давление столба воды над ним и атмосферное давление. Относительный уровень озера определялся по разнице записей давления.

Режим извержений гейзера Великан. Гейзер Великан является самым мощным в Долине Гейзеров. Объем ванны Великана составляет 13.5 м^3 , объем извергающейся воды оценивается в 40-60 м^3 (по данным Г.С. Штейнберга, J.S. Rinehart, 1980), т.е. средний расход его составляет не менее 2.4 кг/с.

На рис. 2 приводятся интегрированные результаты наблюдений за периодичностью извержений гейзера Великан, уровнем Подпрудного озера и барометрическим давлением с августа 2007 г по апрель 2008 г.

На рис. 2 видно, что в некоторых случаях проявляется синхронизация повышения уровня озера с увеличением периода извержений гейзера Великан, причем при более низком уровне в зимнее время наблюдается повышенная «чувствительность» периода гейзера к относительному повышению уровня в озере. Так, например, если 22 окт. 2008 г. при повышении уровня в озере на 12 см (относительный уровень 14 см) период извержения Великана увеличился до 720 мин, то 29 февр. 2008 г. при повышении уровня на 8 см (относительный уровень 4 см) период извержения Великана увеличился до 1920 мин. (32 часа) (рис. 3). Вместе с тем, прохождение летних паводков с амплитудой подъема уровня до 80 см и продолжительностью 1.5 месяца практически не повлияло на периодичность извержений гейзера Великан. Отсюда вытекает, что режим извержений Великана наиболее чувствителен к охлаждению за счет попадания атмосферных осадков непосредственно в ванну гейзера (площадь поверхности ванны около 4.5 м^2), при этом осадки в виде снега в наибольшей степени замедляют его циклическую деятельность.

Средний период извержений гейзера Великан с августа 2007 г. по апрель 2008 г. составил 382.3 мин (при этом было зарегистрировано 899 извержений, среднее число промежуточных вскипаний 10.0). Средний период извержений гейзера Великан с апреля

2008 г. по июль 2008 г. составил 348.6 мин (при этом было зарегистрировано 372 извержения, среднее число промежуточных вскипаний 8.9). Для сравнения отметим, что по данным В.А. Дрознина (<http://www.ch0103.emsd.iks.ru>) среднее значение периода извержений гейзера Великан составляло до обвала 3.06.07 в августе-октябре 2003 г. 339.4 мин, среднее значение промежуточных вскипаний – 8.8 (207 извержений). Замедлилась ли существенно циклическая деятельность Великана после обвала 3.06.07 – покажут дальнейшие наблюдения.

По данным (Rinehart, 1980) наблюдения за режимом извержений гейзеров, проводимые в Йеллоустонском национальном парке США и на скважинах, работающих в гейзерном режиме показали чувствительность активности ряда гейзеров к изменениям атмосферного давления (повышение атмосферного давления приводит к увеличению периода извержений гейзеров). Гейзеры Old Faithful и Riverside реагируют на изменения атмосферного давления, хотя и не всегда с одинаковой амплитудой. Наиболее полные данные получены по скважине Old Faithful of California, работающей в гейзерном режиме и находящейся в Калистоге (Калифорния, США). По результатам детальных четырехлетних наблюдений (1963-1967 гг.) установлено, что сезонное повышение атмосферного давления на 10 мбар приводит к уменьшению среднемесячного периода извержений с 49 до 40 мин (со сдвигом по времени 70 сут.). Физический смысл этого заключается в том, что повышение давления на границе (кровле) гидротермального резервуара приводит спустя некоторое время к увеличению разгрузки из него (что равносильно уменьшению периода действия гейзеров). Следовательно, режим гейзеров может в некоторых случаях служить индикатором внешнего давления на гидротермальный резервуар.

Предварительный анализ взаимосвязи между барометрическим давлением и периодом извержений гейзера Великан с августа 2007 г. по октябрь 2008 г. (рис. 2) показывает, что сезонное уменьшение барометрического давления (зима, 930-940 мбар) синхронизируется с увеличенными периодами извержений (382 мин.), а повышенные барометрические давления (лето, 960-965 мбар) синхронизируются с уменьшением периода извержений (347-349 мин.). Если чувствительность периода гейзера Великан к изменению давления на кровле гидротермального резервуара подтвердится дальнейшими наблюдениями, то эту особенность гейзера можно использовать для оценки изменения геодинамических условий: давления в магматических питающих системах вулкана Кихпинич и кальдеры Узон или давления на кровлю перекрывающих гидротермальную систему озерных туфов.

Режим извержений гейзера Большой. После образования Подпрудного озера деятельность гейзера Большой стала в значительной степени определяться уровнем озера. При относительном уровне в озере выше 25 см гейзер Большой практически не извергался (июль 2007 г.), происходил постоянный залив холодной воды из озера в канал гейзера. При снижении относительного уровня озера ниже 25 см, с 1 сентября 2007 г. извержения гейзера Большой возобновились. Средний период извержений гейзера Большой составил в период с сентября по ноябрь 2007 г. - 85 мин (по данным регистрации 943 извержений), с декабря 2007 г. по март 2008 г. – 69 мин. (2315 извержений) в апреле-мае 2008 г. – 64 мин (822 извержения). В июне-августе 2008 г. уровень Подпрудного озера в связи с паводком существенно повысился, вновь начался залив холодной воды в ванну гейзера и Большой прекратил извержения (рис. 4). Для сравнения отметим, что по данным В.А. Дрознина (<http://www.ch0103.emsd.iks.ru>) до обвала 3.06.07 и образования Подпрудного озера - среднее значение периода извержений гейзера Большой составляло (август-октябрь 2003 г.) 107.7 мин (697 извержений).

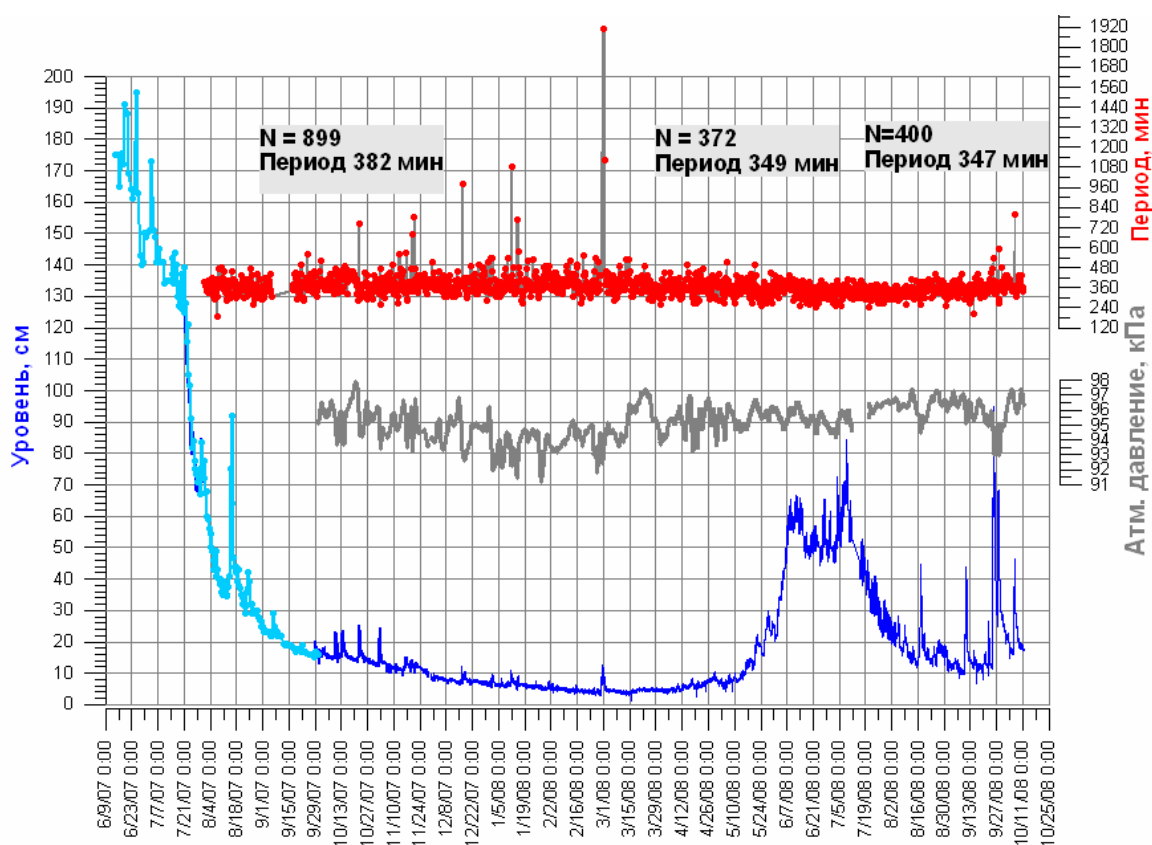


Рис. 2. Изменение относительного уровня озера (синяя линия), барометрического давления (серая линия) и периода извержений гейзера Великан (красные кружки) после обвала 3 июня 2007 г.

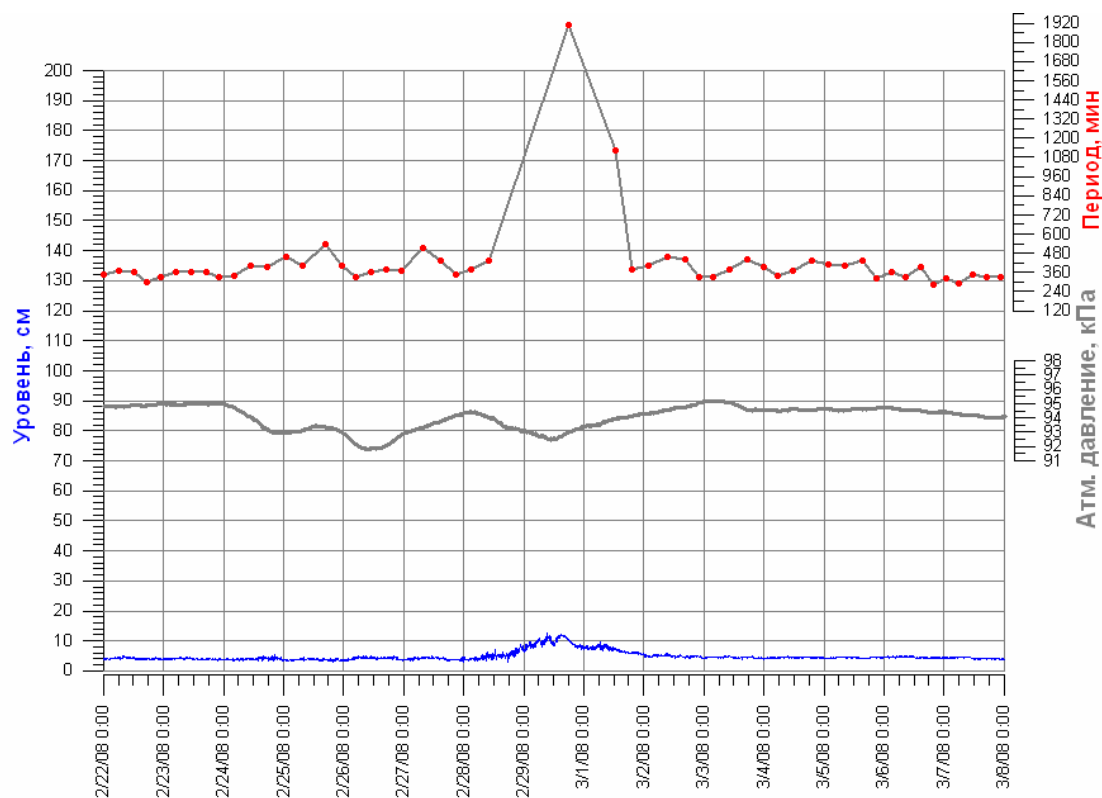


Рис. 3. Изменение относительного уровня озера (синяя линия), барометрического давления (серая линия) и периода извержений гейзера Великан (красные кружки) с 22.02.2008 по 8.03.2008 г. В это время зафиксирован максимальный «простой» Великана – 32 часа.

Режим разгрузки гидротермальной системы в реку Гейзерная

По данным В.М. Сугробова в сентябре 1989 г. расход реки Гейзерной в устьевой части составлял 3340 кг/с, при этом содержание хлора в речной воде – 85 мг/л (суммарный вынос хлор-иона - 283.9 г/с). Принимая максимальное содержание Cl в термальных источниках 900 мг/л, оценка суммарной разгрузки гидротерм (с учетом скрытой) оценивается В.М. Сугробовым в 315 кг/с.

После обвала 3.06.07 гидрометрические наблюдения с целью оценки динамики изменения разгрузки гидротерм проводились на четырех створах р. Гейзерной (створы «Плотина», «Щель+100», «Жемчужный» и «Первенец+200»), при этом регулярные наблюдения с использованием гидрометрической вертушки осуществлялись на двух створах (створы «Плотина» и «Щель+100»). Синхронно с измерениями расхода реки отбирались пробы воды для последующего определения хлор-иона. Используя аналогичный изложенному в монографии В.М. Сугробова и др. (2004) метод подсчета разгрузки гидротерм, определена функциональная зависимость между разгрузкой гидротерм (по хлор-иону) и уровнем, после чего получена зависимость изменения разгрузки гидротерм (по хлор-иону) от времени (рис. 5), с учетом того, что регистрация уровня осуществляется непрерывно с сентября 2007 г. В годовом гидрологическом цикле суммарная разгрузка гидротерм (по хлор-иону) на створе «Плотина» плавно растет от 243 кг/с (октябрь 2007 г.) до максимума 300 кг/с (март 2008 г.), далее резко снижается начиная с мая во время летнего паводка до 30-100 кг/с (июнь 2008 г.), затем опять возрастает до 245-260 кг/с (август-сентябрь 2008 г.). Суммарная разгрузка гидротерм (по хлор-иону) на створе «Щель+100 м» плавно растет от 140 кг/с (октябрь 2007 г.) до максимума 160 кг/с (март 2008 г.), далее резко снижается во время летнего паводка до 20-80 кг/с (июнь 2008 г.), затем опять возрастает до 130-150 кг/с (август-сентябрь 2008 г.). Между створами «Плотина» и «Щель+100» разгрузка гидротерм составляет в среднем 115-140 кг/с (с августа по начало мая), в период паводков (конец мая-начало июля) падает до 10-20 кг/с.

Обращает внимание то, что произошло некоторое перераспределение естественной разгрузки: практически вся она происходит до плотины Подпрудного озера (83% от оценки В.М. Сугробова 315 кг/с на сентябрь 1989 г). Барраж существенной доли естественной разгрузки плотиной Подпрудного озера свидетельствует о ее в целом пониженной проницаемости. Вероятно, к этому привела закупорка телом оползня 3.06.07 бассейна нижнего течения долины реки Гейзерной. На участке от створов «Щель+100м» до «Плотины» после обвала 3.06.07 осуществляется 48% от суммарной величины естественной разгрузки.

Выводы

1. Разработанные численные термогидродинамические модели Паужетского и Мутновского геотермальных месторождений позволяют выяснить условия их формирования, оценить тепловой и массовый баланс в естественных и нарушенных эксплуатацией условиях, модель Паужетского геотермального месторождения достаточно адекватно воспроизводит историю эксплуатации 1960-2006 гг. и позволяет выполнить надежный прогноз различных сценариев дальнейшей эксплуатации.

2. Катастрофический обвал 3 июня 2007 г. в Долине Гейзеров явился очередным этапом общего сценария постепенной паро-гидротермальной переработки Гейзерной пачки (Q_3^4 grn), слагающей кровлю гидротермального резервуара, с постепенным насыщением ее конденсатом пара и соответствующим снижением устойчивости к обрушению.

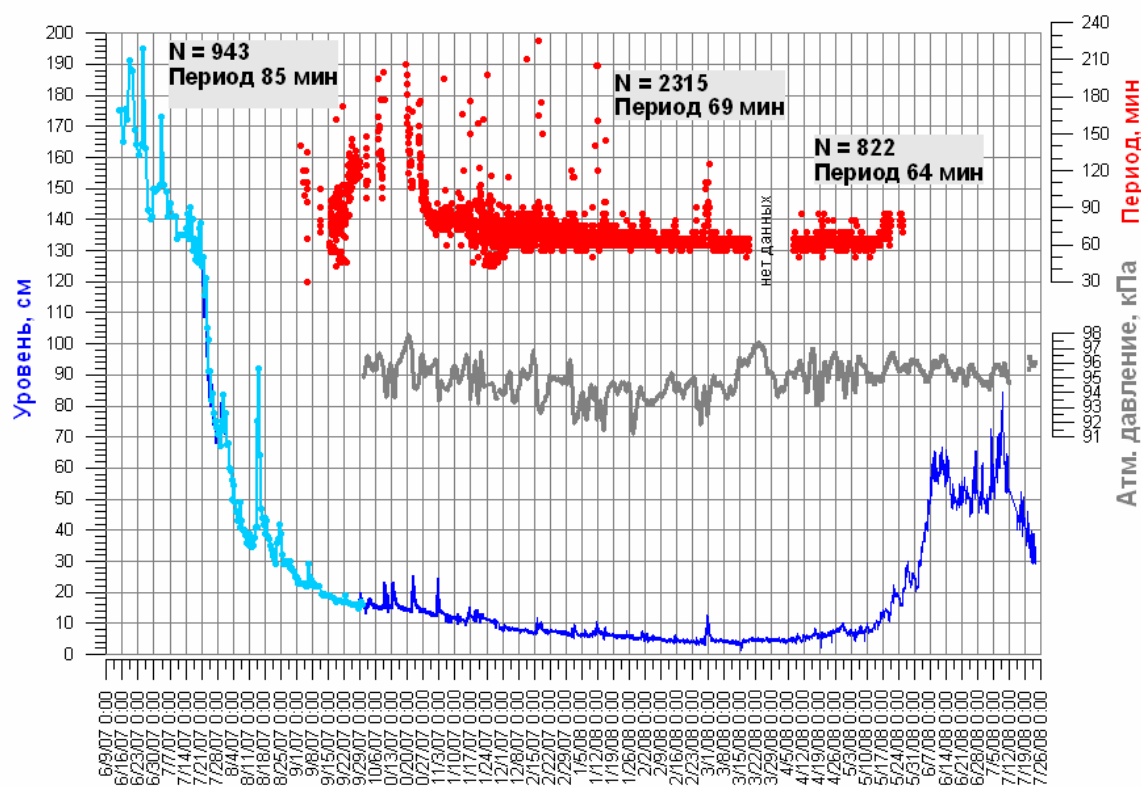


Рис. 4. Изменение относительного уровня озера (синяя линия), барометрического давления (серая линия) и периода извержений гейзера Большой (красные кружки) после обвала 3 июня 2007 г.

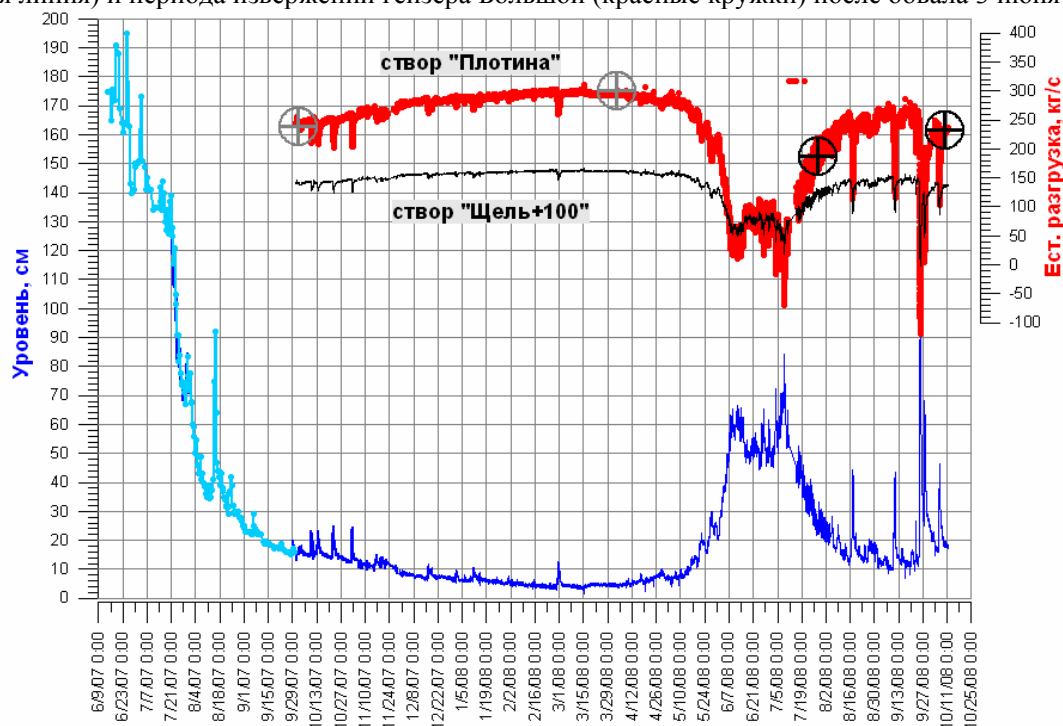


Рис. 5. Изменение относительного уровня озера (синяя линия) и естественной разгрузки гидротерм на створе «Плотина» (красная жирная линия) и на створе «Щель+100м» (черная тонкая линия) (расчет по хлор-иону) после обвала 3 июня 2007 г. Кружки с крестами соответствуют времени проведения гидрометрических измерений (черные – с использованием гидрометрической вертушки, серые – с использованием поплавкового метода).

3. Проявление взаимосвязи между сезонным изменением барометрического давления и периодом извержений гейзера Великан (Долина Гейзеров) с августа 2007 г. по

октябрь 2008 г. указывает на возможную чувствительность периода гейзера к изменению внешнего давления на кровле гидротермального резервуара. Режим извержений гейзера Великан наиболее чувствителен к охлаждению за счет попадания атмосферных осадков непосредственно в ванну гейзера, при этом осадки в виде снега в наибольшей степени замедляют его циклическую деятельность (период извержений увеличивается до 32 часов).

4. Суммарная разгрузка гидротерм (по хлор-иону) в Долине Гейзеров не является постоянной и характеризуется сезонными вариациями. По наблюдениям на створе на выходе из Подпрудного озера она плавно растет от 243 кг/с (октябрь 2007 г.) до максимума 300 кг/с (март 2008 г.), далее резко снижается во время летнего паводка до 30-100 кг/с (июнь 2008 г.), затем опять возрастает до 245-260 кг/с (август-сентябрь 2008 г.).

Автор выражает признательность В.А. Дрознину, В.А. Злотникову, В.Л. Леонову, Т.В. Рычковой, Ю.А. Норватову, И.Ф. Делемену, Е.В. Черных, оказавшим помощь при подготовке данной статьи. Помощь при транспортировке в Долину Гейзеров оказывалась руководством КГБЗ – О.А. Дахно, В.И. Мосоловым и директором КФ ГС РАН В.Н. Чебровым. Работа выполнялась при поддержке РФФИ по проекту 06-05-64688 и ДВО РАН по проекту 06-I-ОНЗ-109.

Список литературы

Белоусов В.И., Гриб Е.Н., Леонов В.Л. Геологические позиции гидротермальных систем Долины Гейзеров и кальдеры Узон // Вулканология и сейсмология, 1983. № 1. С. 65-79.

Кiryukhin A.B., Леонов В.Л., Слоцов И.Б. и др. Моделирование эксплуатации участка Дачный Мутновского геотермального месторождения в связи с обеспечением теплоносителем Мутновской ГеоЭС 50 МВт // Вулканология и Сейсмология № 5. 2005. С.19-44.

Кiryukhin A.B., Корнеев В.А., Поляков А.Ю. О возможной связи сильных землетрясений с аномальными изменениями давления в двухфазном геотермальном резервуаре // Вулканология и сейсмология. № 6. 2006. С.1-9.

Кiryukhin A.B., Пузанков М.Ю., Слоцов И.Б. и др. Термогидродинамическо-химическое моделирование процессов вторичного минералообразования в продуктивных зонах геотермальных месторождений // Вулканология и сейсмология № 5. 2006. С.27-41.

Дрознин В.А. (<http://www.ch0103.emsd.iks.ru>)

Сугробов В.М., Сугрובה Н.Г., Карпов Г.А., Леонов В.Л. «Жемчужина Камчатки – Долина Гейзеров» Научно-популярный очерк – путеводитель (электронная версия). М., 2004. 212 с.

Droznin V.A., Kiryukhin A.V., Muraviev J.D. Geysers Characteristics Before and After Landslide June 3-rd 2007 (Geysers Valley, Kamchatka) // Eos Trans. AGU. 88 (52) 2007. Fall Meet. Suppl., Abstract G41A-0146.

Kiryukhin A.V. Modeling Studies: Dachny Geothermal Reservoir, Kamchatka, Russia // Geothermics, 1996. V. 26. № 1. P.63-90.

Kiryukhin A.V., T. Xu, K. Pruess, J. Apps, I. Slovtsov Thermal-Hydrodynamic-Chemical (THC) Modeling Based on Geothermal Field Data // Geothermics, 2004. V. 33, № 2, P. 349-381.

Kiryukhin A.V., Yampolsky V.A. Modeling Study of the Pauzhetsky Geothermal Field, Kamchatka, Russia // Geothermics. 2004. V. 33. № 4. P.421-441.

Kiryukhin, A.V., Asaulova N.P., Finsterle S. Inverse Modeling and Forecasting for the Exploitation of the Pauzhetsky geothermal field, Kamchatka, Russia // Geothermics. 2008. V.37. P. 540-562.

Rinehart J.S. Geysers and Geothermal Energy, Springer-Verlag, New York, 1980. 223 p.

ОСОБЕННОСТИ ПРОЯВЛЕНИЯ ПОЗДНЕКАЙНОЗОЙСКОГО МАГМАТИЗМА НА ВОСТОЧНО-АЗИАТСКОЙ ОКРАИНЕ В РАМКАХ КОНЦЕПЦИИ «ВИХРЕВОЙ ГЕОДИНАМИКИ»

Колосков А.В.

*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский;
e-mail: kolosav@kscnet.ru*

Существующие модели проявления позднекайнозойского магматизма в рассматриваемом регионе в рамках концепции тектоники литосферных плит вступают во все большее противоречие с имеющимися материалами по структуре геофизических полей и аномалиями теплового потока (Ильичев, Шевалдин, 1986). Поэтому, в последние годы была предпринята попытка привлечь к рассмотрению особенностей строения этой обширной области идеи вихревой геодинамики (Аносов и др., 2004; Колосков, Аносов, 2005, 2006). Эти идеи аккумулировали в себе концепции вихревых структур (Вихри..., 2004), динамику трансформного взаимодействия литосферных плит с внедрением астеносферных диапиров (Ханчук, Иванов, 1999), модели глубинной геодинамики с участием плюмов и диапиров (Добрецов и др., 2001) и геосолитонную парадигму (Бембель и др., 2003).

В настоящей статье приводятся результаты дальнейшей разработки идей вихревой геодинамики на основе изотопных и геохимических материалов по позднекайнозойским вулканитам Восточно-Азиатской окраины.

В качестве трассеров для выделения структур вихревого типа были использованы схемы пространственного расположения вулканических объектов, несущих глубинные включения (Колосков, Аносов, 2005, 2006). Правомочность такого подхода была доказана в результате сопоставления рисовки структур, полученных разными методами. При этом для Восточно-Азиатской окраины в качестве сравнительного материала использовались данные (Дмитриевский и др., 1993), а для западной части Северной Америки – результаты изучения тороидального мантийного потока сейсмическими методами (Zandt, Humphreys, 2008).

Анализ «трассеров» и временной эволюции вулканизма в этих структурах позволил получить картину проявления нескольких вихревых структур на Восточно-Азиатской окраине (рис. 1). Большая их часть (структуры I-го типа) оконтуривают окраинные моря (Берингово, Японское и Южно-Китайское) или глубоководные впадины (Курильская котловина) окраинных морей. По контуру этих структур вулканиты с внутриплитными признаками постепенно сменяются островодужными. Было сделано предположение о том, что образование окраинных морей может быть следствием эволюции структур этого типа (Колосков, Аносов, 2005, 2006). Судя по времени образования упомянутых окраинных морских бассейнов (Flower et al., 1998), формирования этого типа структур происходило позже 35-40 млн. лет.

Часть структур (структуры II-типа) однако выделяются и в пределах континентальной окраины, в районе Камчатского полуострова или на северо-востоке Китая. Скорее всего, они имеют более раннее заложение, так как, например, контуры Япономорской структуры «накладываются» на близлежащую «Китайскую» структуру II-го типа. По данным (Song et al., 1990) образование одного из обширных полей проявления щелочного и толеитового вулканизма в провинции Ханнуоба (северо-восточный Китай) связывается с рифтингом, происходившим около 40 млн. лет назад.

Имеется большое количество работ, в которых обосновывается участие астеносферного источника в процессах магмообразования на рассматриваемой территории. Для Восточного и Юго-Восточного Китая – это модели (Song et al., 1990; Zou et al., 2000 и др.), плюм-пуддинговая модель конвектирующей мантии под С-3 Тайваня

(Chung et al., 1995), модели: (Апт и др., 1998; Portnyagin et al., 2005) для Берингоморского региона; (Tatsumi et al., 2005; Tatsumoto, Nakamura, 1991) для юго-запада Японии, Японского моря и северо-востока Китая; (Flower et al., 1992, 1998; Hoang et al., 1996; Tu et al., 1992) для Южно-Китайского моря и его ближайшего континентального окружения. Анализ этих материалов свидетельствует о том, что в геодинамическом плане выделенные вихревые структуры имеют «астеносферные корни».

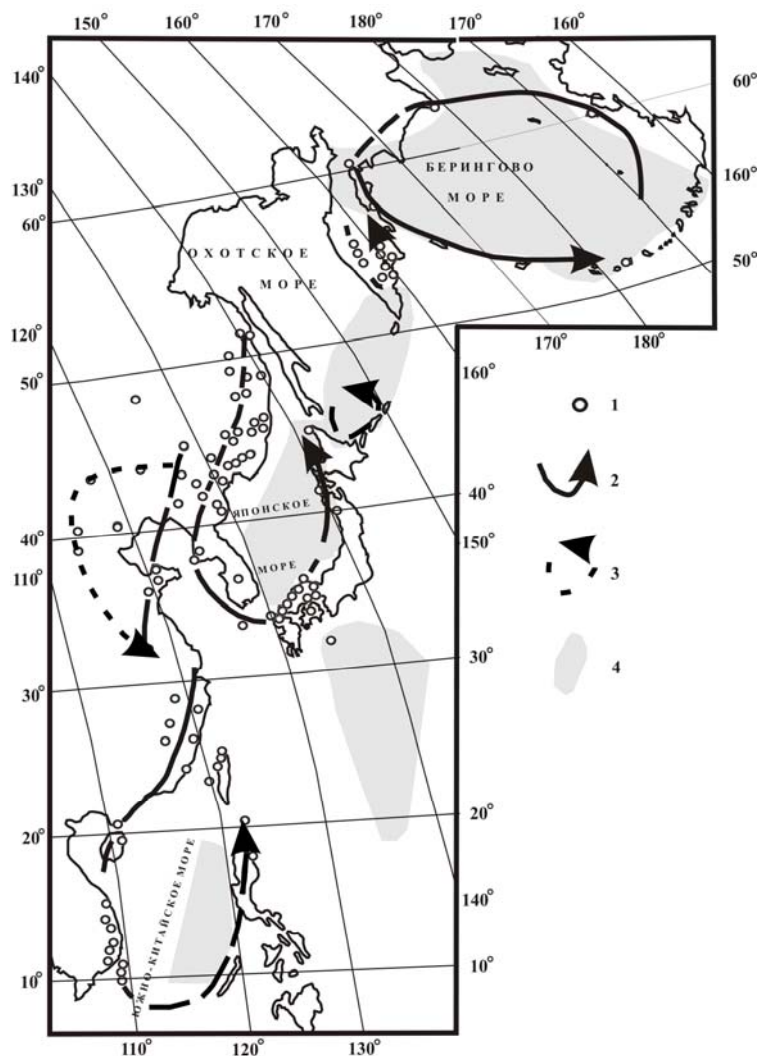


Рис. 1. Позднекайнозойские вулканыты, несущие глубинные включения и контуры вихревых структур на Восточно-Азиатской окраине. 1-вулканические объекты с глубинными включениями; 2-3 – контуры вихревых структур I-го (2) и II-го (3) типов; 4 – поля предполагаемого распространения «аномальной» астеносферы с низкими Sr-изотопными отношениями ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} < 0,7033$).

Несмотря на обилие работ, касающихся «астеносферной проблемы», только отдельные авторы пытаются анализировать возможный состав астеносферного источника для отдельных регионов проявления позднекайнозойского вулканизма. (Flower et al., 1992, 1998; West, Leeman, 1987; Zou et al., 2000 и др.). Последуем их примеру.

С использованием моделей (West, Leeman, 1987; Zou et al., 2000) был проанализирован материал по изотопному составу порядка восьмидесяти объектов проявления позднекайнозойского вулканизма на обеих окраинах Тихоокеана, а также в некоторых районах её центральной части. С учетом географического положения объектов, материалы по предполагаемому изотопному составу плюм-астеносферных источников представлены на рис. 2.

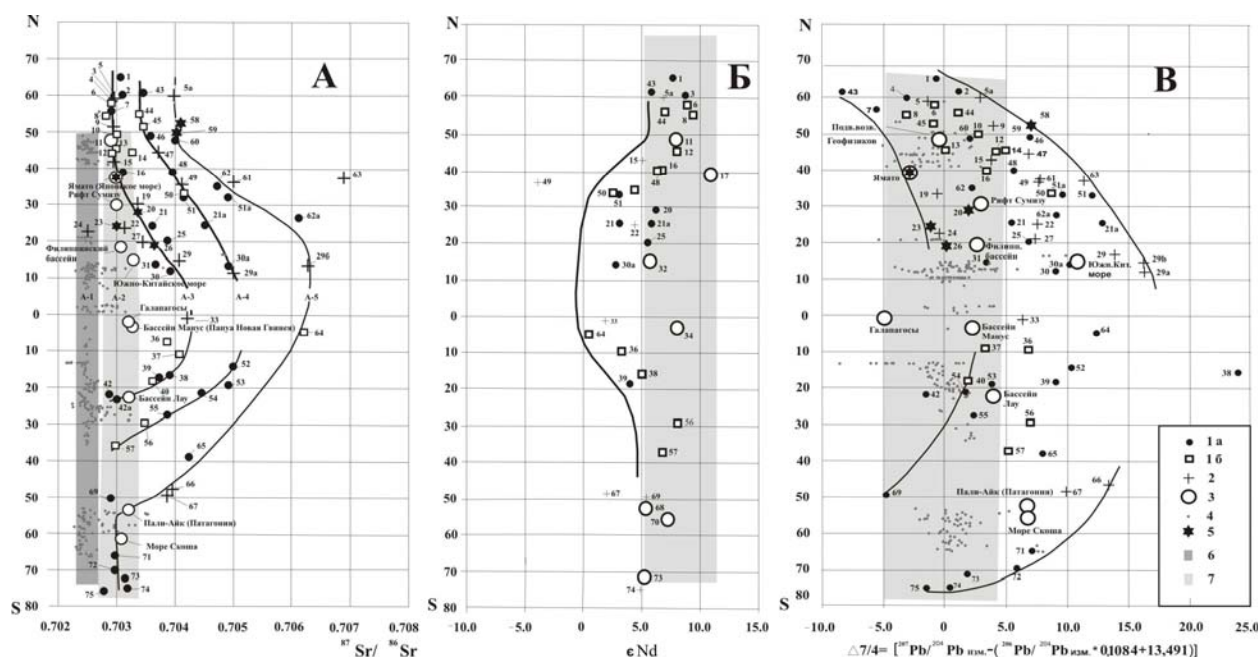


Рис. 2. Диаграмма пространственного расположения точек, предположительно отражающих плюм-астеносферные изотопные характеристики базальтов Тихоокеанского бассейна и его ближайшего окружения. 1 – Западная окраина Пацифики (а-континентальная окраина, б-островодужные системы); 2 – Восточная окраина; 3 – Окраинные бассейны; 4 – Тихоокеанские MORB (валовые составы, стекла); 5 – Эталонные образцы, для которых имеются опубликованные данные изотопного состава астеносферного или плюмового источника); 6–7 поля для Тихоокеанских MORB (6) и окраинных бассейнов (7), А-1 – А-5 – поля и линии усредненных значений плюм-астеносферных характеристик. Использован банк данных по регионам (цифры на графике): 1- Энмеленский массив, Чукотка; 2- Северное Приохотье; 3 – р. Валовая, Корякия; 4 – о. Нунивак; 5 – Северная Канада-1; 5а – Северная Канада-2; 6 – Начикинский вулкан; 7 – о-ва Прибылова; 8 – Вулкан Пийпа; 9 – Британская Колумбия; 10 – Алеуты; 11 – Подводная возв. Геофизиков; 12 – вулкан Богдана Хмельницкого; 13 – вулкан Ришири (Япония); 14 – вулкан Кудрявый, о. Итуруп; 15 – Вашингтон, Каскады; 16 – Северная Япония; 17 – бассейн Ямато, Японское море; 18 –рифт Сумизу; 19 – Сан Карлос, Аризона; 20 – Восточный Китай; 21 – Тайвань-1; 21а – Тайвань-2; 22 – Полуостров Калифорния; 23 – Гавайи (астеносферный источник); 24 – Аларкон (Калифорния); 25 – о. Хайнань; 26 –Гавайи (Лоа-тренд); 27 –Мексика; Филиппинский бассейн (ст. 1201D); 29 – Малые Антилы-1; 29а – Малые Антилы-2; 29б – Малые Антилы-3; 30 – Вьетнам-1 (Фуок Лонг); 30а – Вьетнам-2 (Плейку); 31 – Таиланд; 32 – Южно-Китайское море; 33 – Эквадор; 34 – бассейн Манус (Папуа, Нов. Гвинея); 35 – Галапагосский плюм; 36 –Папуа, Новая Гвинея; 37 – Малайта, Соломоновы о-ва; 38 – Северное Тонга; 39 – Северный Квинсленд, Австралия; 40 – Вити Леву, Фиджи; 41 – бассейн Лау; 42 – о. Мангайа, Полинезия; 42а – Маркизы, Гамбье, Полинезия; 43 – мыс Наварин, Чукотка; 44 – вулканы Ичинский, Толбачик (Камчатка); 45 – о. Атту (Алеуты); 46 – Восточный Сихотэ-Алинь; 47 – Йеллоустонский плюм; 48 – Восточный Китай (Ханнуоба); 49 – Нью Мехико (Тайос, Джемес); 50 – Фукуока, Япония; 51 – Корея-1; 51а – Корея-2; 52 – о. Самоа; 53 – о. Алутуаки, Кук-Австралия; 54 – о. Раротонга, Кук-Австралия; 55 – о. Рапа, Кук-Австралия; 56 – дуга Кермадек; 57 – Новая Зеландия; 58 – Саяны; 59 – Байкальская провинция; 60 – Монголия; 61 – Колорадо; 62 – Тибет-1 (центральный Тибет); 62а – Тибет-2 (провинция Яннан); 63 – Южная Невада; 64 – Биру, Сулавеси; 65 – Западная Виктория, Австралия; 66 – Южная Аргентина; 67 – Патагония-1 (южная часть); 68 – Патагония-2 (бассейн Пали-Айк); 69 – острова Антиподов; 70 – море Скоша; 71 – Сеал Нунатакс, Антарктида; 72 – о. Александра, Антарктида; 73 – море Росса-1, Антарктида; 74 – Хоббс, Антарктида; 75 – Море Росса-2, Антарктида. Данные по Тихоокеанским MORB взяты из работ [White, Hofman, 1982; Hart, 1988; Hofman, 1997] и цитируемой в этих работах литературы.

Как видно на этом рисунке, в отношении изотопных составов вулканитов островных дуг и континентальной окраины наблюдается геоцентрическая зональность, выражающаяся в том, что Sr-изотопные (рис. 2А) и Pb-изотопные (рис. 2В) отношения

имеют максимальные значения в экваториальной части и уменьшаются при движении к полюсам. Обратная картина намечается для отношений изотопов неодима (рис. 2Б). В эту закономерность хорошо «укладываются» данные по «эталонным объектам» (рис. 2А, рис. 2В), для которых имеются результаты подобного анализа, сделанные другими авторами (Рассказов и др. 2002, 2003; West, Leeman, 1987; Zou et al., 2000). Однако на рис. 2 не все точки соответствуют отмеченной закономерности. Значения изотопных составов для базальтов окраинных бассейнов в целом не зависят от их географического положения (хотя по изотопом свинца имеются исключения). Подобной особенностью в отношении изотопов Sr и Pb также характеризуются в целом проявления Тихоокеанских MORB (базальты срединно-океанического хребта). При этом Pb-изотопные характеристики для них в общем тождественны (рис. 2 В), а по изотопии Sr базальты окраинных бассейнов образуют свой диапазон составов с повышенной радиогенностью: $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} \approx 0.7028-0.7033$ (рис. 2А). Как видно на рис. 3, подобные закономерности сохраняются также для некоторых микроэлементных отношений.

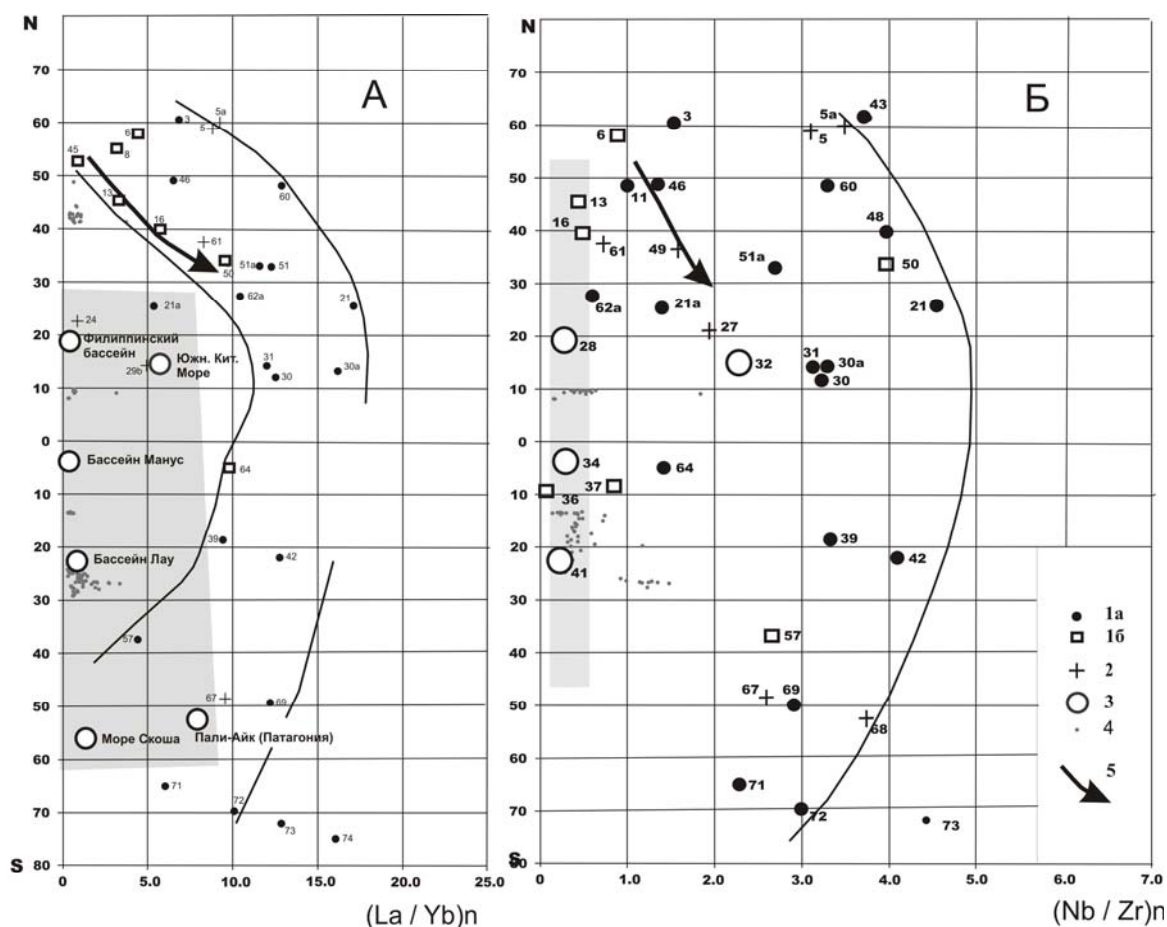


Рис. 3. Диаграмма пространственного расположения точек, предположительно отражающих некоторые плюм-астеносферные характеристики геохимических отношений в базальтах регионов Тихоокеанского бассейна и его ближайшего окружения. 1-4 тоже, что и на рис. 2; 5 – Гавайско-Императорский тренд. Выделено поле преимущественного расположения точек, отвечающих составам окраинных бассейнов и Тихоокеанских MORB. Цифры – тоже, что и на рис. 2.

Более того, нанесенные здесь тренды изменения отношений La/Yb (рис. 3А) и Nb/Zr (рис. 3Б) для предполагаемого плюмового источника базальтов Гавайско-Императорского хребта хорошо вписываются в наблюдаемую зависимость. Все эти данные свидетельствуют о том, что мы имеем дело с некоторой общей закономерностью проявления вулканизма на обширном пространстве Тихоокеанского бассейна, которая может меняться как в пространстве, так и во времени. Какова же её природа? При поиске изотопно-геохимических источников, чей вклад отражается в составе вулканических

пород, существенную информацию можно получить, анализируя состав глубинных (мантийных) ксенолитов (рис. 4).

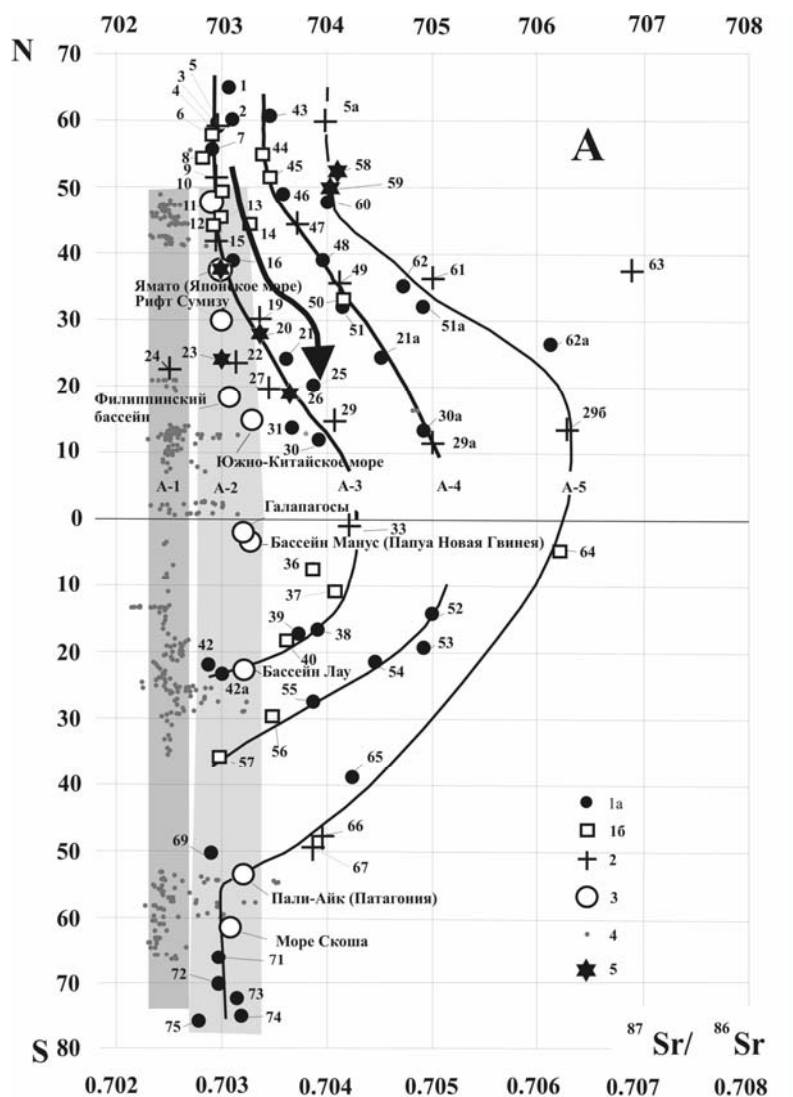


Рис. 4(А). Диаграммы пространственного расположения точек, предположительно отражающих плюм-астеносферные Sr-изотопные характеристики базальтов Тихо-океанского бассейна и его ближайшего окружения. Рис. 4 А. 1-5 – тоже, что и на рис. 2. Стрелкой показан Гавайско-Императорский тренд.

В противоположность той Sr-изотопной геоцентрической зональности, которая хорошо просматривается на рис. 4А, значения отношений $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ для ксенолитов и минералов в них (рис.4Б) не зависят от их географического положения. Здесь наблюдаются только отдельные пики, связанные, скорее всего, с различной степенью опробования разных регионов проявления ксенолит-содержащего вулканизма. Но, тем не менее, в составе самих вулканитов, несущих глубинные включения, проявлена эта геоцентрическая зональность. Поэтому, если Sr-изотопные составы ксенолитов являются отражением литосферного фактора, то проявление Sr-изотопной геоцентрической зональности – это уже влияние более глубинного астеносферного фактора. Более того, нанесенный на диаграмму рис. 4А тренд эволюции Sr-изотопного состава гавайско-императорской «горячей точки» также хорошо «вписывается» в общую картину этой зональности (также, как и на диаграммах рис. 3). Следовательно, можно говорить об участии здесь плюм-астеносферного фактора. Вместе с тем, состав астеносферного источника меняется не только в пространстве, но и во времени. Можно наметить три стадии эволюции астеносферы Тихоокеанского региона:

1) гомогенности с узким диапазоном отношения $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ – 0.7023-0.7027 и других изотопных характеристик; возрастом 85-120 млн. лет (Larson, 1991) или 90-200 млн. лет (Голубева, 2004); образование MORB;

2) гетерогенности с диапазоном изменения отношений $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} - 0.7030-0.7069$ и варьирующим значением других изотопных составов; возрастом от 85-90 до 35-40 мл. лет; проявление геоцентрической или DUPAL аномалии; «существование» Императорско-Гавайский горячей точки (Regelous et al., 2003);

3) гомогенности с узким диапазоном изменения отношений $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} - 0.7028-0.7033$ и других изотопных отношений; возрастом менее 35-40 млн. лет; формирование большинства окраинных бассейнов.

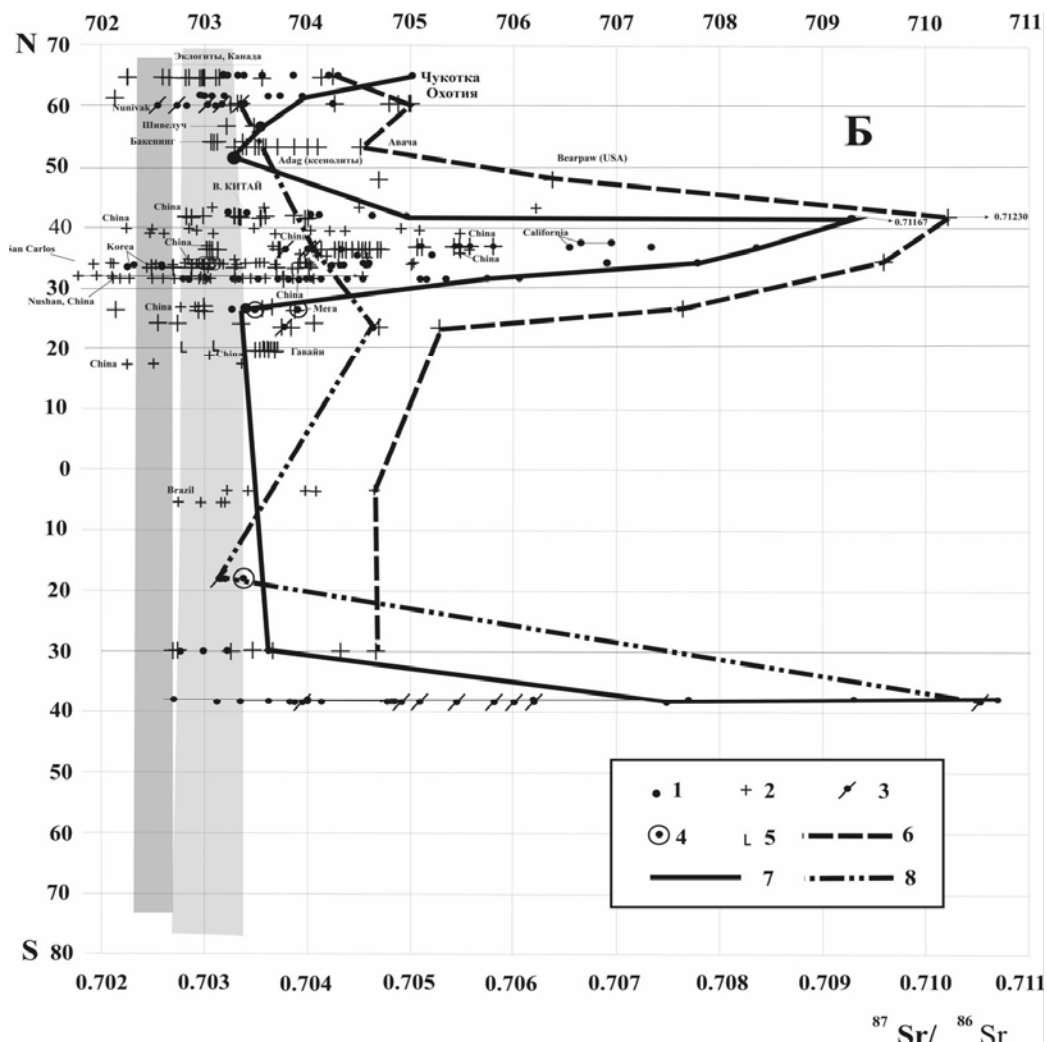


Рис. 4(Б). Диаграмма глубинных ксенолитов (и ми-нералов в них) в базальто-идах (Б).
Рис. 4 Б. 1-5 - Sr-изотопные характеристики: 1 – в валовом составе ксенолитов Sr-перцолитов, пироксени-тов, 2 – в клинопироксенах. 3 – в амфиболах, 4 – в валовом составе ксенолитов с гранатом, 5 – в габброидах, 6-8 линии максимальных значений для клинопироксенов (6), валового состава ксенолитов (7), амфиболов (8). Выделенные поля – тоже, что и 6-7 на рис. 2.

Таким образом, появление большинства вихревых структур (структуры I-го типа), также как и возникновение большей части окраинных бассейнов, связано с последним этапом эволюции астеносферы в рассматриваемом регионе.

Обратимся теперь снова к рис. 1, где с использованием индикаторных точек, для которых проводилось изотопное моделирование, выделены поля «молодой» менее радиогенной астеносферы, которая замещает «старую» более радиогенную астеносферу. Как видно на этом рисунке, участки развития «молодой астеносферы» приурочены в основном к «вихревым структурам» I-го типа. Однако в некоторых местах «новая астеносфера» является источником проявления вулканизма в сопряженных областях: в первую очередь это относится к Северо-Камчатскому региону и к большей части

Курильской островной дуги. Свидетельства участия астеносферной мантии недавно активного Командорского бассейна под северной частью Центрально–Камчатской депрессии приводятся в работе (Portnyagin et al., 2005), а проявление новой, менее радиогенной астеносферы является причиной известной изотопной зональности на Курилах (Колосков, 2008).

В последние годы окраинные бассейны привлекают особый интерес геологов, связанный с перспективами их нефтегазоносности (Арешев, 2003; Тектоническое районирование..., 2006). Данные по распространению нефтегазовых проявлений на азиатской окраине (рис. 5) свидетельствуют о том, что большинство наиболее крупных месторождений углеводородного сырья локализуется в периферийных частях окраинных бассейнов.

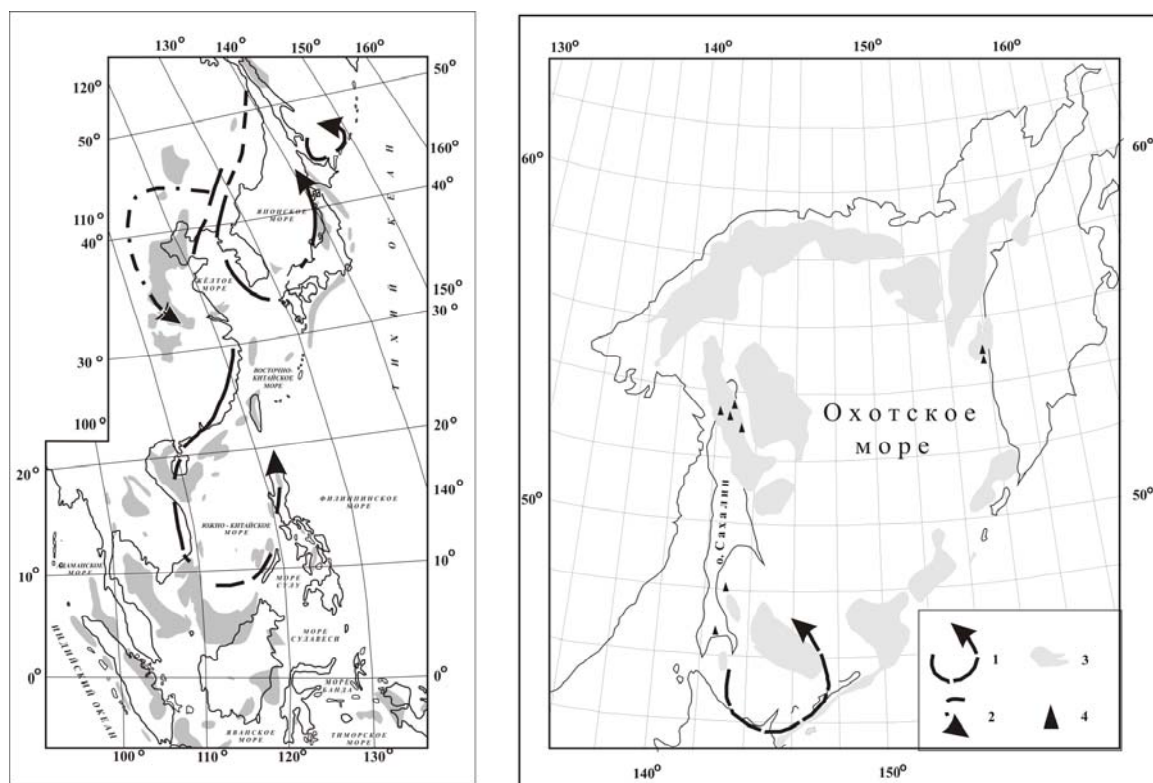


Рис. 5. Вихревые структуры и контуры перспективных нефтегазоносных бассейнов на территории Восточно-Азиатской окраины. А – по материалам (Арешев, 2003), Б – по материалам («Тектоническое районирование...», 2006). 1-2 контуры вихревых структур I-го (1) и II-го (2) типов, 3 – перспективные нефтегазоносные бассейны, 4 – скважины.

Отсюда можно сделать предположение о том, что именно краевые части крупных вихревых структур или аномалий с участием плюмового источника наиболее благоприятны для образования нефтегазовых проявлений. В этой связи можно отметить появление ряда работ (Бембель и др., 2003; Смекалов, 2006), в которых обсуждаются вопросы тесной связи нефтегазовых проявлений с глубинным строением Земли и глобальными процессами геодинамики.

Основные выводы

1. Характер проявления магматизма в зоне перехода океан-континент во многом определяется особенностями эволюции вихревых тектоно-магматических структур.
2. Вариации Sr-изотопного состава вулканитов Восточно-Азиатской окраины в основе своей имеют плюм-астеносферную природу, в чем отражается характер пространственно-временной эволюции этой геосферы Земли.
3. В рассматриваемой переходной зоне астеносфера имеет мозаичное строение, состав её может меняться как в пространстве, так и во времени.

Список литературы

- Аносов Г.И., Колосков А.В., Флеров Г.Б.* Особенности проявления ультрамафитов Камчатского региона с позиций вихревой геодинамики // Вихри в геологических процессах. Петропавловск-Камчатский, 2004. С. 129-200.
- Ант Ю.Е., Акинин В.В., Райт Дж. Е.* Изотопы Sr, Nd, и Pb в неогеновых меланефелинитах и в глубинных ксенолитах на Северо-Востоке России // Геохимия. 1998. № 1. С. 28-37.
- Арешев Е.Г.* Нефтегазоносность окраинных морей Дальнего Востока и Юго-Восточной Азии. Москва: Зарубежнефть, 2003. 323 с.
- Бембель Р.М., Мегеря В.М., Бембель С.Р.* Геосолитоны: флукиональная система Земли, концепция разведки и разработки месторождений углеводородов. Тюмень: И-во «Вектор бук», 2003. 308 с.
- Вихри в геологических процессах. Ред. А.В. Викулин. Петропавловск-Камчатский, 2004. 296 с.
- Голубева Э.Д.* Геохимия и петрология толеитовых базальтов провинций Тихого океана: Дисс.... докт. геол.-мин. наук. Владивосток, 2004. 217 С.
- Дмитриевский А.Н., Володин И.А., Шипов Г.И.* Энергоструктура Земли и геотектоника. М.: Наука, 1993. 154 с.
- Добрецов Н.Л., Кирдяшкин А.Г., Кирдяшкин А.А.* Глубинная геодинамика. 2-е изд. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2001. 409 с.
- Ильчев В.И., Шевалдин Ю.В.* О природе Западно-Тихоокеанской переходной зоны // Докл. АН СССР. 1986. Т. 290. № 3. С. 570-573.
- Колосков А.В., Аносов Г.И.* Особенности геологического строения и позднекайнозойский вулканизм Восточно-азиатской окраины в рамках концепции вихревой геодинамики. Фундаментальные исследования океанов и морей / Гл. ред. Н.П. Лаверов. Москва, 2006. Наука. Кн. 1. С. 278-291.
- Колосков А.В., Аносов Г.И.* Некоторые аспекты геологического строения и особенности проявления вулканизма на активных окраинах Тихого океана, как следствие концепции мантийной вихревой геодинамики. Проблемы источников глубинного магматизма и плюмы. Ред. Н.В. Владыкин. Иркутск-Петропавловск-Камчатский, 2005. С. 272-288.
- Колосков А.В.* Sr-изотопная аномалия на Курилах - возможные пути объяснения. Материалы конференции, посвященной дню вулканолога. Петропавловск-Камчатский, 2008. С. 146-153.
- Рассказов С.В., Саранина Е.В., Демонтерева Е.И. и др.* Мантийные компоненты позднекайнозойских вулканических пород Восточного Саяна (по изотопам Pb, Sr, и Nd) // Геология и геофизика. 2002. Т. 43. № 12. С. 1065-1079.
- Рассказов С.В., Саранина Е.В., Ясныгина Т.А.* Проблема выделения мантийных и коровых компонентов в вулканических породах континентов по изотопам стронция, неодима и свинца. Тектоника, глубинное строение и геодинамика востока Азии. IV-е Косыгинские чтения. Хабаровск, 2003. С. 121-129.
- Смекалов А. С.* Структурирование верхней мантии в полях сейсмотомографических характеристик в связи с глобальным распределением наиболее богатых нефтегазоносных бассейнов // Изв. Рус. геогр. о-ва. 2006. Т. 138. № 1. С. 43-51.
- Тектоническое районирование и углеводородный потенциал Охотского моря / Отв. Редактор К.Ф. Сергеев). М.: Наука, 2006. 126 с.
- Ханчук А.И., Иванов В.В.* Мезо-кайнозойские геодинамические обстановки и золотое оруденение Дальнего Востока России // Геология геофизика. 1999. Т. 40. С. 1635-1645.

Chung S.-L., Jahn B.-M., Chen S.-J. et al. Miocene basalts in northwestern Taiwan: Evidence for EM-type mantle sources in the continental lithosphere // *Geochim. Cosmochim. Acta*. 1995. V. 59. № 3. P. 549-555.

Flower M.F.J., Tamaki K., Hoang N. Mantle extrusion: a model for dispersed volcanism and Dupal-like asthenosphere in East Asia and the West Pacific / In: Flower M.F.J., Chung, S.-L., Lo, C.-H., Lee, T.-Y. (Eds.), *Mantle Dynamics and Plate Interactions in East Asia*. American Geophysical Union, Geodynamics. Series 1998. № 27. P. 67-88.

Flower M.F.J., Zhang M., Chen C.-Y. et al. Magmatism in the South China Basin. 2. Post-spreading Quaternary basalts from Hainan Island, south China // *Chem. Geology*. 1992. V. 97. P. 65-87.

Hart S. R. Heterogeneous mantle domains: signatures, genesis and mixing chronologies // *Earth Planet. Sci. Lett.* 1988. V. 90. P. 273-297.

Hoang N., Flower M.F.J., Carlson R.W. Major, trace element, and isotopic compositions of Vietnamese basalts: interaction of hydrous EMI-rich asthenosphere with thinned Eurasian lithosphere // *Geochim. Cosmochim. Acta*. 1996. V. 60. P. 4329-4351.

Hofmann A.W. Mantle geochemistry: the message from oceanic volcanism // *Nature*. 1997. V. 385. P. 219-228.

Larson. Latest pulse of Earth: Evidence for a mid-Cretaceous superplume // *Geology*. 1991. V. 19. P. 547-550.

Portnyagin M., Hoernle K., Avdeiko G. et al. Transition from arc to oceanic magmatism at the Kamchatka-Aleutian junction // *Geology*. 2005. V. 33. № 1. P. 25-28.

Regelous M., Hofmann A.W., Abouchami W., Galer S.J.G. Geochemistry of Lavas from the Emperor Seamounts, and the Geochemical Evolution of Hawaiian Magmatism from 85 to 42 Ma // *J. Petrol.* 2003. V. 44 (1). P. 113-140.

Song Y., Frey F.A., Zhi X. Isotopic characteristics of Hannuoba basalts, eastern China: implications for their petrogenesis and the composition of subcontinental mantle // *Chem. Geol.* 1990. V. 85. P. 35-52.

Tatsumi Y., Shukuno H., Yoshikawa M. et al. The Petrology and Geochemistry of Volcanic Rocks on Jeju Island: Plume Magmatism along the Asian Continental Margin // *J. Petrol.* 2005. V. 46. № 3. P. 523-553.

Tatsumoto M., Nakamura Y. DUPAL anomaly in the Sea of Japan: Pb, Nd, and Sr isotopic variations at the eastern Eurasian continental margin // *Geochim. Cosmochim. Acta*. 1991. V. 55. P. 3697-3708.

Tu K., Flower M.F.J., Carlson R.W., Xie G.H. et al. Magmatism in the South China Basin: I, Isotopic and trace element evidence for an endogenous Dupal mantle component // *Chem. Geol.* 1992. V. 97. P. 47-63.

West H.B., Leeman W.P. Isotopic evolution of lavas from Haleakala Crater, Hawaii // *Earth Planet. Sci. Lett.* 1987. V. 84. P. 211-225.

White W.M., Hofmann A.W. Sr and Nd isotope geochemistry of oceanic basalts and mantle evolution // *Nature*. 1982. V. 296. P. 821-825.

Zandt G., Humphreys E. Toroidal mantle flow through the western U.S. slab window // *Geology*. 2008. V. 36. № 4. P. 295-298.

Zou H., Zindler A., Xu X. et al. Major, trace element, and Nd, Sr, and Pb isotope studies of Cenozoic basalts in SE China: mantle sources, regional variations, and tectonic significance // *Chem. Geol.* 2000. V. 171. P. 33-47.

ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЙ МЕТОД ПОИСКА ПРЕДВЕСТНИКОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ НА КАМЧАТКЕ

Копылова Г.Н.

*Камчатский филиал Учреждения Российской академии наук Геофизической службы РАН,
Петропавловск-Камчатский; e-mail: gala@emsd.ru*

Введение

Гидрогеологический метод поиска предвестников землетрясений основывается на чувствительности подземной гидросферы к изменениям напряженно-деформированного состояния земной коры на стадиях подготовки землетрясений (Вартанян, Куликов, 1982; Киссин, 1993 и др.). Такая чувствительность может проявляться в аномальных изменениях гидродинамических (дебит, уровень, давление), гидрогеохимических (химический состав воды и газа) и геотермических (температура воды) параметров режима подземных вод перед сильными землетрясениями.

Основу гидрогеологического метода составляют проведение регулярных наблюдений за параметрами режима подземных вод на источниках, самоизливающихся и пьезометрических скважинах; статистическая обработка временных рядов данных наблюдений, направленная на выделение сигналов подготовки землетрясений; разработка методов оценки сейсмической опасности и прогнозирования землетрясений по данным гидрогеологических наблюдений.

На Камчатке такие исследования целенаправленно проводятся с 1977 г. Большой вклад в их развитие внесли Институт вулканологии (ИВ) ДВНЦ АН СССР (В.М. Сугробов, Г.Н. Копылова, Р.А. Шувалов, Л.В. Черткова), Камчатская опытно-методическая сейсмологическая партия (КОМСП) (с 2005 г. Камчатский филиал Геофизической службы РАН) (Ю.М. Хаткевич, Г.В. Рябинин, Г.Н. Копылова, А.А. Смирнов), Камчатский центр мониторинга сейсмической и вулканической активности при Администрации Камчатской области, ОАО «Камчатгеология» (КГ) (А.С. Желтухин, Н.Н. Смолина). Основные этапы развития гидрогеологической наблюдательной сети и методики исследований отражены в таблице. На рис. 1 представлены схемы расположения наблюдательных пунктов.

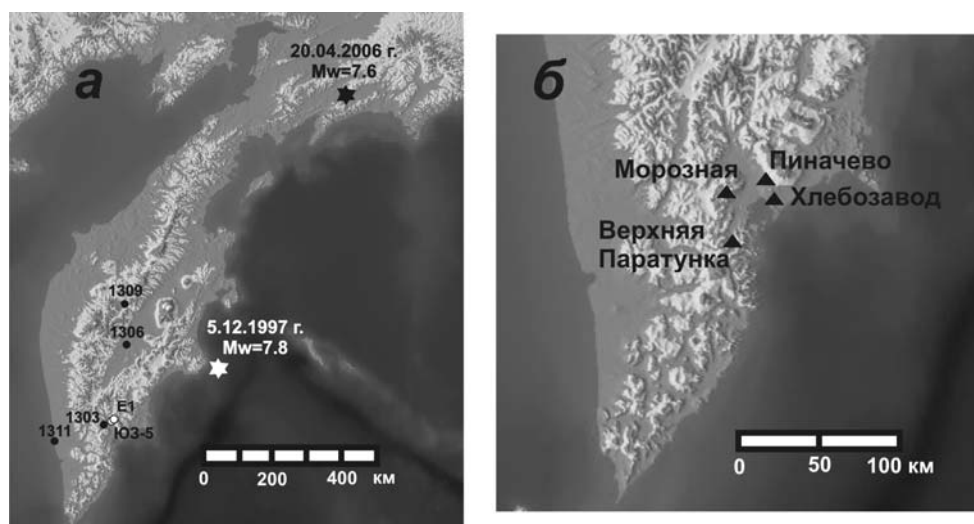


Рис. 1. Схемы расположения пьезометрических скважин КФ ГС РАН (светлые кружки) и ОАО «Камчатгеология» (темные кружки), на которых проводятся уровнемерные наблюдения (а), и пунктов гидрогеохимических наблюдений КФ ГС РАН, включающих самоизливающиеся скважины и источники (б). Звездами обозначены эпицентры двух сильнейших землетрясений: Кроноцкого землетрясения 5.12.1997 г., $M=7.8$ и Олюторского землетрясения 20.04.2006 г., $M=7.6$, произошедших за время наблюдений.

Развитие наблюдательной сети и методики гидрогеологических исследований

Дата	Содержание работ	Организация
Декабрь 1976 г.	Организация наблюдений на пункте Пиначево (3 источника, самоизливающаяся скв. ГК-1 глубиной Н=1261 м); измерение дебита, температуры, концентраций компонентов химического состава воды и свободного газа 1 раз в 3 суток.	ИБ КОМСП с 1979 г
Сентябрь 1983 г.	Организация наблюдений на пункте Морозная (самоизливающаяся скв. 1, Н=600 м); измерение дебита, температуры, концентраций компонентов химического состава воды 1 раз в 3 суток.	КОМСП
1986 г.	Внедрение методики определения химического состава газа, растворенного в воде.	ИБ, КОМСП
1987 г.	Организация урвнеммерных наблюдений на скв. Е1, Н=665 м с использованием самописца «Валдай», периодичность регистрации 1 раз в сутки.	КОСП
1989 г.	Организация наблюдений на скважинах пункта Верхняя Паратунка; измерение концентраций компонентов химсостава воды и растворенного газа 1 раз в 6 суток.	КОМСП
1992 г.	Организация наблюдений на пункте Хлебозавод (скв. Г-1, Н=2500 м); измерение концентраций компонентов химсостава воды и растворенного газа 1 раз в 3 суток.	КОМСП
1994 г.	Опубликование алгоритма оценки сейсмической опасности по данным гидрогеохимических наблюдений (Хаткевич, 1994; Копылова и др., 1994)	ИБ, КОМСП
Январь 1996 г.	Организация цифровой регистрации уровня воды на скв. Е1 (периодичность 10 мин) с использованием регистратора ГИП-3 и датчика уровня ДУ.	КЦМСИВА, ИФЗ
Сентябрь 1997 г.	Организация цифровой регистрации уровня воды на скв. ЮЗ-5, Н=800 м (периодичность 10 мин) с использованием регистратора ГИП-3 и датчика уровня ДУ.	КЦМСИВА, ИФЗ
2001-2002 гг.	Модернизация системы урвнеммерных наблюдений на скв. Е1 и ЮЗ-5; установка регистраторов Кедр-А2 и ультразвуковых датчиков уровня воды (ООО Полином, г. Хабаровск); периодичность регистрации 10 мин;	КОМСП
	- организация цифровых урвнеммерных наблюдений на сети скважин ОАО «Камчатгеология» (скв. 1303, 1306, 1309, 1311);	КГ
	- внедрение программных средств информационной системы POLYGON для сбора, хранения и обработки данных урвнеммерных наблюдений (Копылова и др., 2003).	КОМСП
2004 г.	Создание методики обработки данных урвнеммерных наблюдений для выделения сигналов сейсмичности (Копылова, Бормотов, 2004).	КОМСП
2005-2006 гг.	Организация цифровых урвнеммерных наблюдений на скважинах ОАО «Камчатгеология» с периодичностью 10 мин	КГ
2007 г.	Модернизация системы урвнеммерных наблюдений на двух скважинах ОАО «Камчатгеология»; использование регистратора Кедр-Д и телеметрической передачи данных (ООО Полином, г. Хабаровск).	КГ

В настоящее время гидрогеологическая наблюдательная сеть на Камчатке включает 9 самоизливающихся скважин и 3 источника, на которых проводятся наблюдения за химическим составом воды и газа с периодичностью 1 раз в 3-6 суток. В составе

подземной воды определяются pH, концентрации HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , H_4SiO_4 , H_3BO_3 . В составе растворенного и свободного газа определяются методом газовой хроматографии O_2 , N_2 , Ar, CH_4 , He, H_2 , углеводородные газы. Проводятся измерения дебита (объемным способом) и температуры воды. Наблюдения за вариациями уровня воды в скважинах и атмосферного давления с периодичностью 10 мин - 1 ч проводятся КФ ГС РАН и ОАО «Камчатгеология» на 6-ти пьезометрических скважинах с использованием автоматических средств регистрации, включающих универсальный цифровой регистратор Кедр А2, ультразвуковой датчик уровня воды и датчик атмосферного давления (ООО «Полином», г. Хабаровск).

Данные наблюдений представляют временные ряды параметров режима подземных вод длиной от первых лет до 30-ти лет, которые содержатся в пополняемых электронных базах данных в КФ ГС РАН и ОАО «Камчатгеология». В качестве дополнительной информации используются данные метеорологических наблюдений (температура воздуха, атмосферное давление, суточная сумма осадков) на метеостанции Пионерская Камчатского управления по гидрометеорологии и контролю окружающей среды и данные регистрации атмосферного давления и температуры воздуха на каждой станции.

Методика обработки данных гидрогеологических наблюдений в КФ ГС РАН включает построение временных рядов параметров режима скважин и источников, применение статистических методов анализа временных рядов, направленных на выделение аномальных изменений гидрогеологических параметров, в т. ч. барометрический и приливной анализ вариаций уровня воды (Копылова, 2001, 2006а; Копылова и др., 2000 и др.), многомерный анализ временных рядов данных гидрогеохимических наблюдений (Любушин и др., 1996, 1998), метод фликкер-шумовой спектроскопии (Рябинин, Хаткевич, 2007) и др.; систематизацию данных по аномальным изменениям параметров режима подземных вод в сопоставлении с произошедшими землетрясениями и разработку методов прогноза землетрясений по данным гидрогеологических наблюдений с оценкой их сейсмопрогностической эффективности.

В ОАО «Камчатгеология» для обработки данных уровнемерных наблюдений используется методика построения гидрогеодеформационного поля (ГГД-поля), принятая в МПР России (Вартанян, Куликов, 1982; Методические..., 2000; Смолина, 2008).

Основными результатами многолетних исследований являются обнаружение среднесрочных гидрогеологических предвестников, проявляющихся в аномальных изменениях уровня воды в скважинах, минерального и газового состава подземных вод преимущественно перед землетрясениями с магнитудами $M \geq 6.6$ на расстояниях R до 200-300 км от пунктов наблюдений с заблаговременностью месяцы-недели (Копылова и др., 1994; Хаткевич, Рябинин, 1998, 2004, Копылова, 2001, 2006а). На основе выявленных гидрогеологических предвестников предложены методы среднесрочной оценки опасности возникновения сильных землетрясений на Камчатке. По данным гидрогеологических наблюдений регулярно (с периодичностью 1 раз в 1-2 недели) ответственными исполнителями работ в КФ ГС РАН (Г.Н. Копылова, Г.В. Рябинин, Ю.М. Хаткевич) и в ОАО «Камчатгеология» (Н.Н. Смолина) представляются прогнозные заключения в Камчатский филиал Российского экспертного совета по прогнозу землетрясений, которые используются для подготовки заключений о сейсмической опасности в Камчатском крае.

Гидрогеохимические предвестники камчатских землетрясений и оценка их сейсмопрогностической информативности

Впервые яркие проявления гидрогеологических предвестников были зарегистрированы на пунктах Пиначево и Морозная перед Шипунскими землетрясениями 6.10.1987 г., $M=6.6$ и 2.03.1992 г., $M=6.9$. Эти землетрясения произошли южнее Шипунского п-ова на расстояниях 110-130 км от наблюдательных пунктов и сопровождалась в г. Петропавловске-Камчатском сотрясениями интенсивностью 5-6 баллов по шкале MSK-64. Обоим землетрясениям предшествовали гидрогеохимические

аномалии в составе подземных вод: понижение концентрации Cl^- и других компонентов глубинной составляющей (концентрации Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , H_3BO_3 , Li^+ , J) в составе воды скважины ГК-1 в течение 7-ми и 9-ти мес.; понижение концентрации HCO_3^- в воде скважины Морозная в течение 1-ого месяца. В составе воды скважины Морозная перед вторым землетрясением наблюдалось также пропорциональное увеличение катионов Na^+ и Ca^{2+} и перераспределение анионов за счет относительного роста концентрации SO_4^{2-} и уменьшения концентрации HCO_3^- . Минерализация воды увеличилась на 25%. Перед землетрясением 1992 г. в течение 2-х мес. также происходило увеличение амплитуды колебаний концентраций свободных газов. Наблюдались также и постсейсмические эффекты в изменениях дебитов, температуры и химического состава воды источников и скважин на пунктах Пиначево и Морозная (Копылова и др., 1994; Хаткевич, 1994).

На основе этих данных в работе (Копылова и др., 1994) был сформулирован алгоритм прогноза землетрясений в районе г. Петропавловска-Камчатского по данным гидрогеохимических наблюдений на самоизливающихся скважинах: ««Наиболее выраженным признаком подготовки сильного землетрясения, сопровождающегося сотрясениями не менее 5-ти баллов в районе г. Петропавловска-Камчатского, является совместное проявление относительного уменьшения концентрации хлора в воде скв. ГК-1 в течение не менее 5 месяцев с аномальными вариациями других показателей режима источников и скважин:, уменьшением концентрации HCO_3^- и другими аномалиями химического состава воды скв. 1, появлением аномалий газового состава скв. ГК-1»».

На рис. 2 представлен график изменения концентрации хлора в воде скважины ГК-1 за 18 лет (1985-2003 гг.) из работы (Хаткевич, Рябинин, 2004).

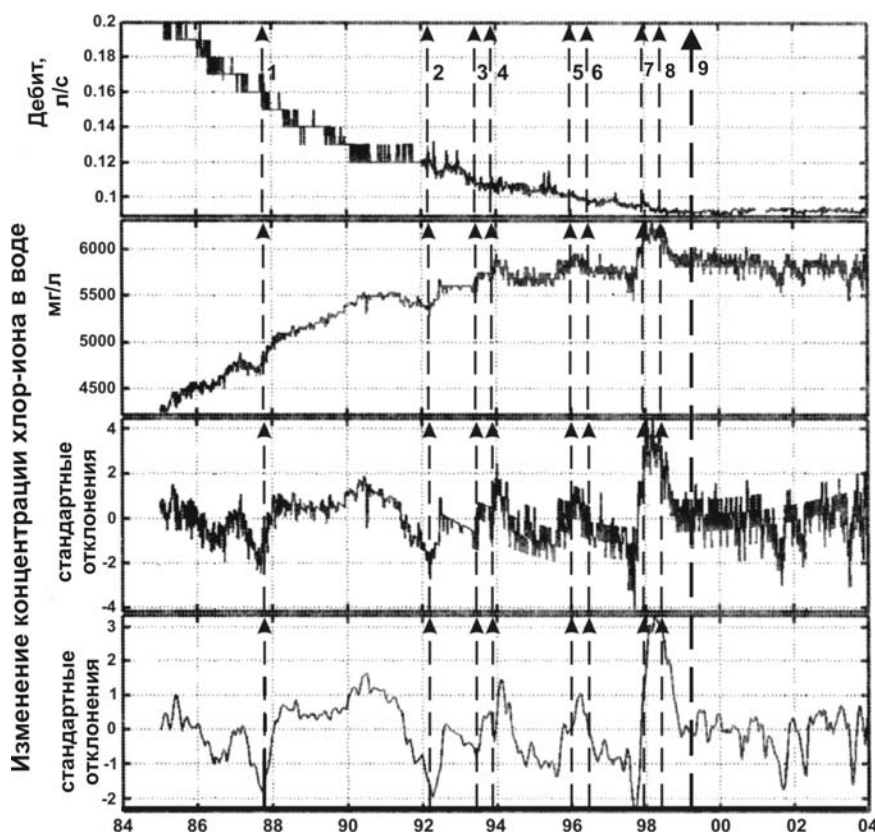


Рис. 2. Изменения дебита и концентрации хлор-иона в воде скважины ГК-1, пункт Пиначево в 1985-2003 гг. (по Хаткевич, Рябинин, 2004 с добавлениями автора). Стрелками показаны моменты землетрясений с $M \geq 6.6$: 1 – 6.10.1987 г., $M=6.6$, $R=120$ км, 4-5 баллов; 2 – 2.03.1992 г., $M=6.9$, $R=110$ км, 5-6 баллов; 3 – 8.06.1993 г., $M=7.5$, $R=210$ км, 5 баллов; 4 – 13.11.1993 г., $M=7.0$, $R=140$ км, 5-6 баллов; 5 – 1.01.1996 г., $M=6.9$, $R=110$ км, 4-5 баллов; 6 – 21.06.1996 г., $M=7.0$, $R=210$ км, 4 балла; 7 – 5.12.1997 г., $M=7.8$, $R=320$ км, 5-6 баллов; 8 – 1.06.1998 г., $M=6.9$, $R=120$ км, 4-5 баллов; 9 – 9.03.1999 г., $M=7.0$, $R=140$ км, 5 баллов.

Вертикальными линиями показаны моменты землетрясений с величинами магнитуд от 6.6 до 7.8, произошедшие на расстояниях $R=110-320$ км от скважины. Таких землетрясений было 9, и все они сопровождались ощутимыми сотрясениями с интенсивностью не менее 4-5-ти баллов в районе г. Петропавловска-Камчатского. Перед 6-тью событиями (1-5, 7) проявлялись понижения концентрации хлора продолжительностью от 1-ого до 9-ти мес. Перед 3-мя событиями (6, 8-9) понижение концентрации хлора не наблюдалось. Следует отметить, что эти три землетрясения происходили через относительно небольшие промежутки времени после предшествующих сильных событий: землетрясение в июне 1996 г. - через 0.5 года после события 1.01.1996 г. в Карымском вулканическом центре, и землетрясения 1998 и 1999 гг. - через 0.5 года и 1 год 4 месяца после сильнейшего Кроноцкого землетрясения.

Результаты многолетних наблюдений на скважине ГК-1 показывают, что вероятность связи «предвестника» в форме понижения концентрации хлора в воде и сильных землетрясений составляет порядка 0.7 ($p=6/9$). Также очевидно, что для этой системы «скважина-резервуар подземных вод» характерно некоторое время релаксации ее свойств после сильных сейсмических воздействий, когда гидрогеохимический предвестник проявляться не может. Для того, чтобы он проявлялся, необходимо достаточно продолжительное время, чтобы система вернулась в квазистационарное состояние. После сильных землетрясений, сопровождающихся интенсивными сотрясениями, в течение длительного времени проявляются постсейсмические изменения гидрогеохимических и гидродинамических параметров режима подземных вод, когда свойства системы «скважина-резервуар» изменяются, и запускается длительный процесс их восстановления.

Для повышения эффективности обработки временных рядов данных гидрогеохимических наблюдений на самоизливающихся скважинах и источниках применялись методы многомерного статистического анализа, разработанные д.ф.-м.н. А.А. Любушиным (Любушин, 2007). Используемые методы направлены на формализованное выделение сигналов синхронизации в совокупных изменениях наблюдаемых параметров режима подземных вод, фиксирующие временные и частотные интервалы увеличения амплитуд или повышения стабилизации фаз отдельных спектральных компонент в изменениях всех или большинства временных рядов, составляющих многомерные ряды (Любушин и др., 1996, 1998).

На рис. 3 представлены примеры частотно-временных диаграмм эволюции информативных статистик двух многомерных временных рядов данных наблюдений на скважинах 1 и ГК-1 за 10-летний период, включающий 5 сильных землетрясений. Проявление максимумов статистик указывает на наличие сигналов синхронизации в изменениях многомерных рядов в соответствующих частотных и временных диапазонах. В изменениях многомерных временных рядов выделяются сигналы синхронизации, предшествующие сильным землетрясениям и постсейсмические сигналы. Часто сигналы синхронизации сливаются, т. е. сигнал-предвестник последовательно сменяется постсейсмическим сигналом.

Следует отметить, что в изменениях 4-хмерного ряда данных наблюдений на скважине 1 Морозная (рис. 3а) сигналы синхронизации предшествовали всем 5-ти сильным землетрясениям. В изменениях 5-мерного ряда данных наблюдений за концентрациями свободных газов яркие предсейсмические сигналы синхронизации проявлялись перед 3-мя землетрясениями (рис. 3б). В этом случае отсутствие аномалий газового состава перед двумя землетрясениями 1993 г., по-видимому, связано с релаксацией свойств системы «скважина-резервуар» после Шипунского землетрясения 2.03.1992 г. Следует отметить, что при возникновении землетрясений с $M=5-6$ выделяются, в основном, постсейсмические сигналы синхронизации в изменениях комплекса параметров режима самоизливающихся скважин и источников.

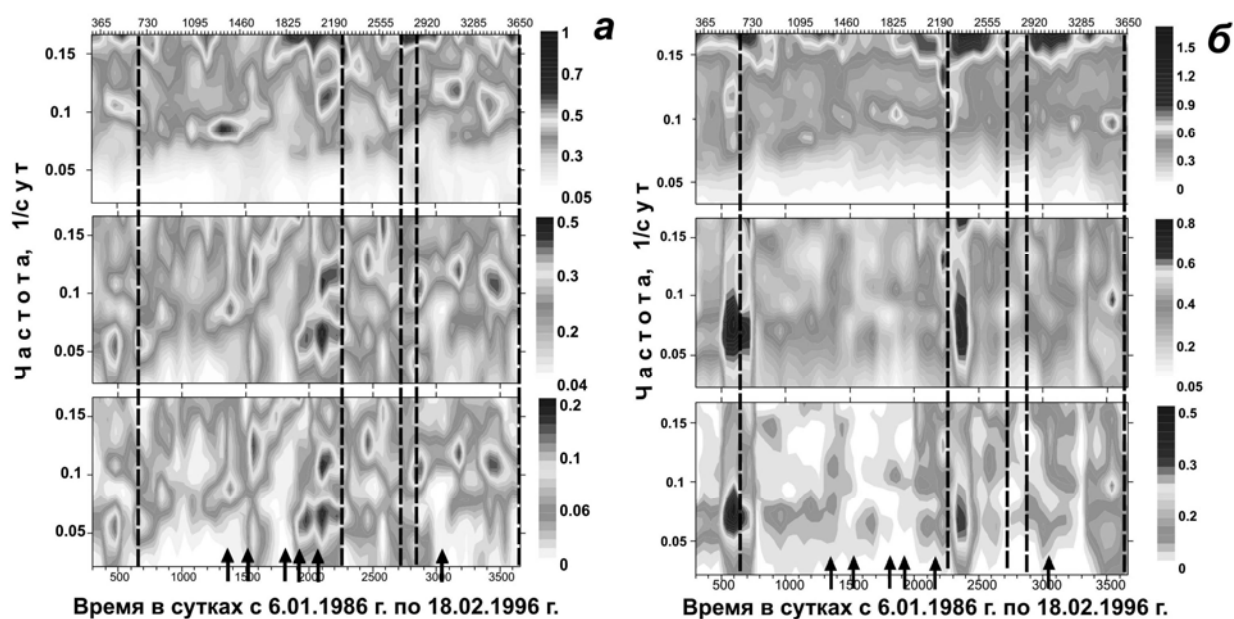


Рис. 3. Частотно-временные диаграммы эволюции (сверху вниз) максимального собственного числа спектральной матрицы, среднего значения квадратов покомпонентных канонических когерентностей и произведения покомпонентных канонических когерентностей 4-хмерного ряда данных наблюдений (дебит, температура воды, концентрации гидрокарбонат-иона и кремниевой кислоты) на скважине 1, пункт Морозная (а) и 5-мерного ряда данных измерения концентраций свободных газов (метана, азота, аргона, гелия и углекислого газа), выделяющихся из скважины ГК-1, пункт Пиначево (б) за период с 6.01.1986 г. по 18.02.1996 г. Пунктирными вертикальными линиями обозначены землетрясения с $M \geq 6.6$. Стрелками обозначены землетрясения с $M = 5-6$. Оценка информативных статистик производилась в окне 300 сут с шагом 60 сут.

Выявленные сигналы синхронизации в изменениях многомерных временных рядов данных наблюдений на самоизливающихся скважинах и источниках, предшествующие сильным камчатским землетрясениям, представляют специфическую форму формализованных статистических гидрогеологических предвестников и указывают на развитие аномальных физико-химических состояний в подземных водоносных системах на стадиях подготовки таких землетрясений. На примере 10-летнего временного интервала вероятность связи таких предвестников и сильных землетрясений для различных водопроявлений составляет $p = 1(5/5) - 0.6(3/5)$.

В работе (Копылова, 1992) выполнена оценка сейсмопрогностической информативности данных гидрогеохимических наблюдений на пункте Пиначево для относительно спокойного в сейсмическом отношении периода 1979-1988 гг. по методике (Гусев, 1974). Полученные величины прогнозной эффективности для отдельных компонентов химического состава воды Пиначевских источников 1 и 2 и скважины ГК-1 и комплекса гидрогеохимических параметров отдельных водопроявлений систематически выше единицы и составляют 1.5-2. Это указывает на определенную «полезность» использования гидрогеохимических предвестников для среднесрочного прогноза сильных камчатских землетрясений. Но, учитывая, в целом относительно небольшие величины их сейсмопрогностической эффективности, использование гидрогеохимические предвестники целесообразно только в комплексе с данными других сейсмопрогностических методов.

Уровнемерные наблюдений на пьезометрических скважинах и оценка сейсмопрогностической информативности

Проведение уровнемерных наблюдений в скважинах с периодичностью 10 мин. позволило получить принципиально новые данные о сейсмогидрогеодинамических процессах в системах скважина-резервуар. В работах (Копылова, 2001, 2006а; Копылова и

др., 2000, 2008) описаны различные типы сигналов сейсмичности в изменениях уровня воды: гидродинамические предвестники, косейсмические скачки порового давления при образовании разрывов в очагах землетрясений; разнообразные постсейсмические изменения, вызванные прохождением сейсмических волн, как от местных, так и от сильных телесейсмических событий. Установлены основные закономерности формирования отклика уровня воды в скважинах на сейсмические воздействия, определяющиеся комплексом локальных условий, в частности, упругими и фильтрационными свойствами резервуаров, строением скважин, гидрогеологическими условиями, такими как степень изолированности резервуара и состав порового флюида. Важным результатом гидрогеодинамических исследований в скважинах является также понимание того, что на стадиях подготовки землетрясения может происходить как упругое деформирование резервуаров подземных вод при развитии предсейсмических движений в области будущего очага, так и увеличение емкости водовмещающих пород при развитии в них трещинной дилатансии.

В связи с Кроноцким землетрясением 5.12.1997 г., $M=7.8$ (рис. 1а) в изменениях уровня воды в скважинах Е-1 и ЮЗ-5 зарегистрирован гидрогеодинамический предвестник, проявившийся в течение 3-х недель в синхронном понижении уровня воды в обеих скважинах (Копылова, 2006а). В связи с Олюторским землетрясением 20.04.2004 г., $M=7.6$ (рис. 1 а), эпицентр которого находился на расстоянии $R=750-1150$ км от наблюдательных скважин, наблюдались, в основном, постсейсмические изменения уровня воды, вызванные прохождением сейсмических волн. При этом в трех скважинах, расположенных в районе г. Петропавловска-Камчатского, были выявлены синхронные аномальные вариации уровня воды, которые, возможно, были вызваны активизацией геодинамических процессов на прилегающем участке Камчатской сейсмофокальной зоны. Факт этот, несомненно, интересный и требует дальнейшего осмысления.

По данным многолетних наблюдений на скважине Е1 обнаружено регулярное проявление гидрогеодинамического предвестника перед землетрясениями с $M \geq 5$ на расстояниях до 350 км в форме увеличения скорости понижения уровня воды (Копылова, 2001, 2008). Ретроспективная оценка эффективности предвестника для прогнозирования таких землетрясений в 1997-2007 гг. показала, что предвестник проявлялся перед 14-тью землетрясениями из 21-ого произошедшего. Отсюда вероятность связи предвестника и землетрясений составляет $p=0.7$ (14/21). Отношение времени тревоги к общему времени наблюдений составляет от 1/5 до 1/3. Отсюда ретроспективная оценка эффективности предвестника для прогноза составляет 3.2-2.1 (Копылова, 2008). Т. е. гидрогеодинамический предвестник в изменениях уровня воды в скважине Е1 является полезным для среднесрочного прогноза таких землетрясений. Установлена также положительная корреляция времени и заблаговременности проявления гидрогеодинамического предвестника от величины магнитуды землетрясения. Это свойство гидрогеодинамического предвестника позволяет уточнять величину магнитуды прогнозируемого землетрясения.

Заключение

По данным многолетних наблюдений информативность гидрогеологического метода для среднесрочного прогноза камчатских землетрясений с $M \geq 7$ характеризуется величинами ретроспективной сейсмопрогностической эффективности 2-3 при вероятности связи гидрогеологических предвестников и землетрясений 0.7-0.8.

В режиме отдельных самоизливающихся скважин и источников прослеживается эволюция во времени физико-химических состояний в питающих их водоносных системах. При этом процессы самоорганизации в подземных водоносных системах способны как повышать, так и понижать их чувствительность к процессам подготовки землетрясений. При этом чувствительность водоносных систем к процессам подготовки землетрясений после сильных сейсмических событий обычно понижается.

В качестве ведущего механизма образования гидрогеохимических и гидрогеодинамических предвестников рассматривается развитие на стадиях подготовки сильных камчатских землетрясений трещинной дилатансии в водовмещающих породах, увеличение их емкости, изменение проницаемости и гидродинамического взаимодействия контрастных по химическому составу подземных вод в зонах повышенной водопроницаемости (Копылова, 2006б). В случае Кроноцкого землетрясения проявление гидрогеодинамического предвестника в двух скважинах могло быть связано с квазиупругим деформированием резервуаров подземных вод при развитии предсейсмических движений в области очага будущего землетрясения.

Развитие гидрогеологического метода поиска предвестников землетрясений связано с автоматизацией гидрогеохимических наблюдений на самоизливающихся скважинах и источниках и использованием интегральных показателей химического состава воды (например, ее электропроводности). Необходимо также обеспечить регистрацию уровня воды с периодичностью не более 1 с и создать единую пополняемую открытую базу данных гидрогеологических наблюдений.

Основной научно-методической задачей гидрогеосейсмологических исследований является разработка новых и совершенствование имеющихся моделей формирования гидрогеодинамических и гидрогеохимических предвестников, ко- и постсейсмических эффектов, проявляющихся в режиме отдельных наблюдательных скважин и источников, с учетом локальных гидрогеологических условий и особенностей формирования их гидродинамического и гидрогеохимического режима.

Список литературы

Вартанян Г.С., Куликов Г.В. Гидрогеодеформационное поле Земли // Докл. АН СССР. 1982. Т. 262. № 2. С. 310-314.

Гусев А.А. Прогноз землетрясений по статистике сейсмичности // Сейсмичность и сейсмический прогноз, свойства верхней мантии и их связь с вулканизмом на Камчатке. Новосибирск: Наука, 1974. С. 109-119.

Киссин И.Г. Гидрогеологический мониторинг земной коры // Физика Земли. 1993. № 8. С. 58-69.

Копылова Г.Н. Анализ влияния сейсмичности на режим Пиначевских термопроявлений на Камчатке (по результатам наблюдений в 1979-1988 гг.) // Вулканология и сейсмология. 1992. № 2. С. 3-18.

Копылова Г.Н. Изменения уровня воды в скважине Елизовская-1, Камчатка, вызванные сильными землетрясениями (по данным наблюдений в 1987-1998 гг.) // Вулканология и сейсмология. 2001. № 2. С. 39-52.

Копылова Г.Н. Изменения уровня воды в скважине ЮЗ-5, Камчатка, вызванные землетрясениями // Вулканология и сейсмология. 2006а. № 6. С. 52-64.

Копылова Г.Н. Сейсмичность как фактор формирования режима подземных вод // Вестник КРАУНЦ. Серия науки о Земле. 2006б. № 1. Вып. № 7. С. 50-66.

Копылова Г.Н. Оценка сейсмопрогностической информативности данных уровнемерных наблюдений на скважине Е1, Камчатка (по данным наблюдений 1996-2007 гг.) // Геофизический мониторинг и проблемы сейсмической безопасности Дальнего Востока. Тр. региональной научно-техн. конф. Т. 2. Петропавловск-Камчатский: ГС РАН, 2008. С. 24-28.

Копылова Г.Н., Сугробов В.М., Хаткевич Ю.М. Особенности изменения режима источников и гидрогеологических скважин Петропавловского полигона (Камчатка) под влиянием землетрясений // Вулканология и сейсмология. 1994. № 2. С. 53-37.

Копылова Г.Н., Любушин А.А., Малугин В.А. и др. Гидродинамические наблюдения на Петропавловском полигоне, Камчатка // Вулканология и сейсмология. 2000. № 4. С. 69-79.

Копылова Г.Н., Латыпов Е.Р., Пантюхин Е.А. Информационная система «Полигон»: комплекс программных средств для сбора, хранения и обработки данных геофизических наблюдений // Проблемы сейсмологии III-го тысячелетия. Матер. междунар. геофиз. конф. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2003. С. 393–399.

Копылова Г.Н., Бормотов В.А. Эффекты сейсмичности в изменениях уровней воды глубоких скважин сейсмоактивных районов Дальнего Востока: методика диагностики и результаты // Закономерности строения и эволюции геосфер: Матер. VI междунар. междисциплин. научн. симпоз. Хабаровск: ДВО РАН, 2004. С. 134–149.

Копылова Г.Н., Смолина Н.Н. Гидрогеосейсмические вариации уровня воды в скважинах Камчатки в связи с сильнейшими ($M \geq 7.6$) землетрясениями // Геофизический мониторинг и проблемы сейсмической безопасности Дальнего Востока. Тр. региональной научно-техн. конф. Т. 1. Петропавловск-Камчатский: ГС РАН, 2008. С. 175–179.

Любушин А.А. Анализ данных систем геофизического и экологического мониторинга. М.: Наука, 2007. 228 с.

Любушин А.А., Копылова Г.Н., Хаткевич Ю.М. Применение многомерного анализа для обработки данных гидрогеологических наблюдений на Петропавловском полигоне, Камчатка, с целью поиска предвестников сильных землетрясений // Вулканология и сейсмология. 1996. № 1. С. 79–97.

Любушин А.А., Копылова Г.Н., Хаткевич Ю.М. Анализ спектральных матриц данных гидрогеологических наблюдений на Петропавловском полигоне, Камчатка, в сопоставлении с сейсмическим режимом // Физика Земли. 1997. № 6. С. 79–89.

Методические указания по ведению гидрогеодеформационного мониторинга для целей сейсмопрогноза (система R-STEPS). М.: ЗАО «Геоинформмарк», 2000. 77 с.

Рябинин Г.В., Хаткевич Ю.М. Использование метода фликкер-шумовой спектроскопии в задаче идентификации гидрогеохимических предвестников землетрясений // Геофизический мониторинг и проблемы сейсмической безопасности Дальнего Востока. Тр. региональной научно-техн. конф. Т. 2. Петропавловск-Камчатский: ГС РАН, 2008. С. 44–48.

Смолина Н.Н. Мониторинг гидрогеодеформационного поля в Камчатском крае // Геофизический мониторинг и проблемы сейсмической безопасности Дальнего Востока. Тр. региональной научно-технич. конф. Т. 2. Петропавловск-Камчатский: ГС РАН, 2008. С. 79–83.

Хаткевич Ю.М. О возможности среднесрочного прогноза землетрясений интенсивностью свыше пяти баллов, проявляющихся в г. Петропавловске-Камчатском // Вулканология и сейсмология. 1994. № 1. С. 63–67.

Хаткевич Ю.М., Рябинин Г.В. Гидрогеохимические исследования на Камчатке // Комплексные сейсмологические и геофизические исследования Камчатки. Петропавловск-Камчатский, 2004. С. 96–112.

ПЕРВЫЕ ШАГИ К ОРГАНИЗАЦИИ СЕЙСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ДОЛИНЫ ГЕЙЗЕРОВ

Кугаенко Ю.А., Салтыков В.А.

*Камчатский филиал Геофизической службы РАН,
г. Петропавловск-Камчатский, Россия; e-mail: ku@emsd.ru*

Введение

Сейсмический мониторинг относится к технологиям уменьшения риска опасных природных явлений. Он базируется на организации сети непрерывных долговременных наблюдений на исследуемой территории. В современной трактовке мониторинг включает не только регистрацию, но и дальнейшую оперативную обработку и интерпретацию сейсмологических данных с выходом на прогнозные оценки. В зависимости от размеров охватываемой мониторингом территории он может подразделяться на уровни: мировой, региональный, локальный.

Особой актуальностью отличается организация сейсмического мониторинга в районах, обладающих высокой геодинамической активностью и высокой вероятностью проявления опасных природных процессов. Именно к таким регионам относится и Камчатка. На полуострове успешно функционирует разветвленная сеть региональных сейсмических станций, которая начала создаваться в 1961-1962 гг. Сеть неравномерна: наибольшую плотность она имеет в районах активных вулканов (Авачинская и Северная группы), которые традиционно являются объектом особого внимания камчатских ученых.

Район Долины Гейзеров значительно удален от пунктов ведения сейсмологических наблюдений. Ближайшей является сеймостанция в районе Карымского вулкана, расположенная в 70 км к югу. Имеющиеся данные по сейсмичности Долины гейзеров неполны, а отсутствие базовых инструментальных (геофизических, геодезических, сейсмологических) данных позволяет рассматривать район как малоизученный.

Подтверждением этому служат недавно опубликованные данные спутниковой интерферометрии (Lundgren et al., 2006) об активном поднятии примыкающего к Долине Гейзеров вулканического массива Кихпинич на 15 см в 2001-2003 гг. Также неожиданной для научной общественности явилась геологическая катастрофа – гигантский оползень 2007 г., изменивший привычный облик Долины (Пинегина и др., 2008).

Встает вопрос об организации в районе Долины Гейзеров современной системы комплексного локального сейсмического, геофизического, геодезического мониторинга. Это достаточно объемные, трудоемкие и дорогостоящие работы. Реализация такого проекта возможна лишь при наличии целевого финансирования и требует детальной предварительной проработки. Первыми шагами в этом направлении можно считать проведенные в 2007 и 2008 гг. сейсмологические наблюдения временными автономными сейсмическими станциями. Работы были выполнены в рамках экспедиционных проектов РФФИ.

Долина Гейзеров: геологическая обстановка

Долина Гейзеров – крутостенный каньон длиной около 4 км. Он проходит вдоль восточного края обширной Узон-Гейзерной вулкано-тектонической депрессии, представляющей собой сложную кольцевую структуру, наложенную на восточную грабен-синклиналь. Она рассматривается как крупный раздробленный блок сложного вулканического массива, обрушенного по кольцевому разлому. Депрессия, ограниченная хорошо сохранившимся кольцевым уступом, разделяется кислыми экструзивными куполами на две четко выраженные в рельефе впадины: западную – кальдеру Узон и восточную – Гейзерную. Глубина верхней кромки предполагаемого магматического очага под кальдерой и его диаметр оценены соответственно в 7-8 км и 10 км (Белоусов и др., 1983).

Узон-Гейзерная депрессия связана с узлом пересечения крупных разломов: магмо- и флюидопроводящего Вулканического раздвиг северо-восточного простирания и субширотного Узон-Валагинского глубинного сдвига. Выделена также сеть разломов, ориентированных по отношению к депрессии концентрически.

Над восточным бортом Узон-Гейзерной депрессии возвышается сложный разновозрастный вулканический массив Кихпиныч, который относится к активным вулканам Камчатки (Брайцева и др., 1991). Последняя активизация вулкана произошла менее 600 лет назад.

Для Узон-Гейзерной депрессии характерна активная гидротермальная деятельность как в прошлом, так и в настоящее время. В Долине Гейзеров, в узком ущелье кольцевого разлома, ограничивающего депрессию с востока, идет интенсивная разгрузка термальных вод. Предполагаемая область теплового питания Гейзерной гидротермальной системы – вулканический массив Кихпиныч (Леонов и др., 1991).

Долина Гейзеров в региональном поле сейсмичности

Основное количество землетрясений Камчатки сосредоточено в сейсмофокальной зоне, наклонно уходящей под полуостров. Под Долиной Гейзеров сейсмофокальная зона находится на глубине 120-140 км. Западная граница мелкофокусных субдукционных землетрясений проходит по восточным полуостровам. Непосредственно под сушей Камчатки поверхностных землетрясений происходит значительно меньше, чем в сейсмофокальной зоне. Они связаны как с вулканизмом, так и с тектоническими процессами. В целом по региональному каталогу для полосы суши Восточное побережье – Срединный хребет уровень надежной регистрации землетрясений $K=8.5-9$ (Гордеев и др., 2006). Класс соответствует энергетической классификации С.А. Федотова для Курило-Камчатских землетрясений. При существующей конфигурации сети этот параметр для исследуемого района $K=7.5$.

В соответствии с вероятностной картой общего сейсмического районирования ОСР-97-А, Долина Гейзеров относится к зоне, где интенсивность колебаний в результате сильных землетрясений может достичь 9 баллов. За последнее столетие Долина Гейзеров 3 раза испытывала сотрясения с интенсивностью 7-8 баллов (1923, 1927, 1959 гг.) и 3 раза - 6 баллов (1952, 1971, 1997 гг.) по шкале макросейсмической интенсивности MSK-64. Эти сотрясения были связаны с сильнейшими за годы инструментальных наблюдений региональными землетрясениями с магнитудами $M=7.5-9$. Последнее наиболее сильное сейсмическое воздействие связано с Кроноцким землетрясением 05.12.1997, $M_w=7.8$, интенсивность колебаний оценена в 6 баллов.

Району Узон-Гейзерной депрессии присуща локальная мелкофокусная сейсмическая активность низкого энергетического уровня. За время детальных сейсмологических наблюдений региональной сетью зафиксировано несколько поверхностных землетрясений из этого района. Для них характерна неравномерность распределения событий во времени, что указывает на нестационарность процесса. В силу ограниченных технических возможностей региональной сети регистрируются только наиболее сильные землетрясения, некоторые из которых – ощутимые. Наличие локальных землетрясений в районе Долины Гейзеров было инструментально подтверждено в ходе проведенных здесь в конце 2007 г. кратковременных наблюдений временной сейсмической станцией (Кугаенко, 2008; Кугаенко и др., 2008).

Имеются данные об ощутимых землетрясениях из района Долины Гейзеров в последние дни перед оползнем, который произошел 3 июня 2007 г. Одно сообщение относится непосредственно к Долине Гейзеров (Пинегина и др., 2008). Два других поступили из ближайших к ней мест, где в это время находились сотрудники Кроноцкого заповедника. Сообщается о слабых ощутимых ($I=2-3$) сейсмических событиях 30 мая – 1 июня 2007 г. Не исключено, что эти слабые землетрясения оказали влияние на заключительный этап подготовки геологической катастрофы 3 июня 2007 г. По

имеющимся данным процесс развития оползня и склоновой неустойчивости длился достаточно долго, в течение нескольких десятков лет. В частности, тектоническая трещина, по которой произошел отрыв блока пород, сформировавших оползень, видна на аэрофотоснимках 1973 г. При обследовании в 1974 г. трещина выглядела свежей, на ней были провальные воронки, свидетельствующие о недавней активизации движений и раскрытии трещины (Леонов, 2008). Возможно, эта активизация трещины связана с сейсмическим воздействием землетрясения 1971 г. ($M_w=7.5$, $I=6$). Однако ее образование (зарождение) могло произойти значительно раньше, в частности, при более интенсивных сотрясениях массива (1923, 1927, 1959 гг., $I=7-8$).

Проблемы полевых сейсмологических наблюдений на Камчатке

Проведение временных полевых сейсмологических наблюдений в наиболее интересных и геодинамически активных районах остается одним из важнейших направлений геофизических исследований. Сохраняют актуальность локальные временные сети в эпицентральных зонах сильных землетрясений, на активных вулканах, в районах проявления естественной и наведенной локальной микросейсмичности. Также рекогносцировочные сейсмологические наблюдения целесообразно проводить на малоизученных территориях, где планируется организация стационарных станций.

Ранее на Камчатке развитию этого вида наблюдений уделялось значительное внимание. Интересные результаты были получены при исследовании Большого трещинного Толбачинского извержения, на Ключевском вулкане, в районах повышенной сейсмической активности. Регистрация велась станциями с аналоговой записью сигналов. Со временем это оборудование устарело и пришло в негодность, а финансовые проблемы не позволяли обновить парк аппаратуры. В итоге на рубеже веков на Камчатке были прекращены временные полевые сейсмологические наблюдения.

В настоящее время ситуация с аппаратурой изменилась в лучшую сторону: начали использоваться цифровые регистраторы GeoSig GSR-24 (<http://www.geosig.com>), а в 2007-2008 гг. Камчатским филиалом Геофизической службы РАН были приобретены 7 современных портативных широкополосных сейсмометров с обратной связью CMG-6TD производства Guralp Systems Ltd. (<http://www.guralp.com>).

В 2008 г. эти приборы впервые не только на Камчатке, но и в России были опробованы в полевых условиях в районе Долины Гейзеров. Сейсмометры CMG-6TD составят основу временных полевых сейсмологических наблюдений на Камчатке в ближайшие годы.

Характеристики аппаратуры

В качестве полевой сейсмической станции в Долине Гейзеров в 2007 г. использовался регистрирующий комплекс, в состав которого включен трехкомпонентный блок короткопериодных сейсмометров CM-3 с периодом собственных колебаний 2 сек. и цифровой 24-разрядный регистратор GSR-24. Параметры комплекса:

- регистрируемый параметр: скорость смещения грунта;
- частота оцифровки: 100 отсч./сек.;
- частотный диапазон регистрации: $0.5 \div 25$ Гц;
- разрядность АЦП: 23+знак;
- динамический диапазон регистрации: не хуже 120 дБ;
- емкость флэш-карты: 2 Гб;
- срок автономности по емкости памяти флэш-карты: 14 суток.

В 2008 г. наблюдения базировались на сейсмометрах CMG-6TD, которые относятся к категории портативных широкополосных приборов со встроенной флэш-картой и могут одновременно сочетать в себе функции сейсмического датчика и цифрового регистратора (рис. 1). Основные характеристики CMG-6TD:

- частотный диапазон от 0.03 до 100 Гц;

- чувствительность 2×1200 В/м/с;
- 3-канальный 24-разрядный АЦП;
- частота оцифровки: 100 отсч./сек.;
- встроенная флэш-карта 2Гб;
- срок автономности по емкости памяти флэш-карты: 14 суток;
- Options: Wi-Fi, Ethernet, Fi-Wi.



Рис. 1 Лабораторные испытания сейсмометров CMG-6TD.

1 – сейсмометр CMG-6TD, 2 – портативный компьютер для полевого обслуживания сейсмометра; 3 - коммутационный блок; 4 – внешний винчестер для скачивания данных из внутренней памяти сейсмометра; 5 – лабораторный блок питания сейсмометра.

Широкий частотный диапазон частот обеспечивается благодаря применению современной технологии форс-балансных датчиков с петлей обратной связи. Встроенный цифровой преобразователь с разрешающей способностью 24 бита с высокой точностью конвертирует полученные на выходе датчиков сигналы в цифровые данные. При подключении питания CMG-6TD начинает работать автоматически. Полученные данные могут передаваться во внешнюю систему регистрации или сохраняться на встроенной флэш-карте памяти. Точная временная привязка информации обеспечивается благодаря GPS-приемнику, связанному с CMG-6TD через коммутационный блок. Для энергопитания аппаратуры использовались блоки батарей «Лиман».

Наблюдения 2007 г.

В конце 2007 г. в районе Узон-Гейзерной вулканотектонической депрессии были выполнены сейсмологические наблюдения на базе временных сейсмических станций (Кугаенко и др., 2008). Использовались описанные выше комплексы, включающие трехкомпонентный блок сейсмометров CM-3 и цифровой регистратор GSR-24. Регистрация проведена в двух пунктах: непосредственно в Долине Гейзеров и в 10 км к северо-западу, в кальдере Узон, которые относятся к единой активной вулканической структуре.

Работы 2007 г. носили разведочный характер. Необходимо было определить уровень фонового микросейсмического излучения, проанализировать записи региональных землетрясений, проверить наличие источников локальных сейсмических сигналов.

Наблюдения осуществлялись в сложных зимних условиях. Сейсмометры были установлены в зимнем полевом варианте: на мерзлый грунт. Аппаратура (сейсмометры, регистратор, блок батарей питания) были помещены в портативные защитные металлические корпуса. Для привязки записи к точному времени использовались GPS-антенны, которые были закреплены на мачтах на высоте 1.5 м над уровнем снега.

В результате проведенных наблюдений впервые в Долине Гейзеров и кальдере Узон были получены цифровые сейсмические записи фонового шума, региональных землетрясений, локальных сейсмических событий, связанных с геодинамической активностью района и, возможно, гидротермальной активностью. Показано, что пункт регистрации в Долине Гейзеров подходит для организации здесь региональной сейсмической станции и по уровню фонового микросейсмического сигнала соответствует мировым требованиям (Peterson, 1993). Подтверждена локальная сейсмическая активность. В кальдере Узон в частотном диапазоне 3-4 Гц выявлен устойчивый максимум в спектре фонового микросейсмического излучения, источник которого, возможно, имеет эндогенное происхождение. Зарегистрированы нетектонические сейсмические сигналы, имеющие сходную форму и спектральные характеристики.

Экспедиционные работы 2008 г.

В октябре-ноябре 2008 г. в районе Долины Гейзеров работала временная микрогруппа с апертурой около 7 км из 8 временных сейсмических станций (рис. 2). Основу составили широкополосные сейсмометры CMG-6TD.



Рис. 2. Схема расстановки временных сейсмических станций в районе Долины Гейзеров в 2008 г. Использована топографическая карта района Долины Гейзеров, составленная НИИГАиК по заказу Института вулканологии ДВО РАН на основе стереотопографической съемки 1978 г.

Центральная станция группы располагалась в центральной части Долины, где в 2007 г. уже была проведена регистрация. Она дублировалась короткопериодным комплексом CM-3 + GSR-24. Остальные точки были вынесены на борта каньона. Микрогруппа захватила участки повышенной оползнеопасности: сопку Гейзерную, восточный борт кальдеры. Наиболее удаленный пункт наблюдений был установлен в верховьях реки Гейзерной, в Долине смерти, у подножью вулканического массива Кихпинич.

Основные цели работ 2008 г.:

- получение микрогруппой синхронных многоканальных цифровых записей сейсмических сигналов;

- определение локальных источников микросейсмической эмиссии и слабых землетрясений;
- апробация новых технических средств исследования микросейсмичности;
- первые исследования сейсмических событий, приуроченных к вулкану Кихпиньч.

Предварительно по имеющейся геологической информации необходимо было выбрать точки регистрации и в дальнейшем по материалам полевых наблюдений оценить возможность их потенциального использования при организации долговременного сейсмического мониторинга.

Важной частью полевых работ явилась разработка и прохождение пешеходных маршрутов, связывающих места установки аппаратуры с кордоном «Долина Гейзеров», где базировалась экспедиция (рис. 3). Несмотря на незначительные линейные размеры исследуемой территории, ее сложный рельеф превращает каждый полевой выход в трудоемкое мероприятие. Поток грубообломочного материала, перегородивший Долину в результате оползня 3 июня 2007 г., еще более усложнил пешеходное перемещение в этом районе. В ходе экспедиции были опробованы и с помощью портативного GPS-приемника закартированы 6 радиальных маршрутов, безопасных и доступных для прохождения, которые в будущем могут использоваться для обслуживания стационарных пунктов сети мониторинга.



Рис. 3. Возвращение из пешеходного радиального маршрута на кордон Кроноцкого заповедника «Долина Гейзеров». Вид с восточного борта сопки Гейзерной. В правой части фотографии – новый элемент ландшафта: живописное озеро, образовавшееся в результате запруживания реки Гейзерной крупнообломочной лавиной 3 июня 2007 г. Фото В.А. Салтыкова.

Первые результаты обработки данных 2008 г. иллюстрируют пригодность выбранных точек наблюдения для организации долговременных пунктов. Спектры сигналов характеризуются разнообразием, но по уровню фонового микросейсмического излучения соответствуют мировым требованиям. Применение современных цифровых средств регистрации обеспечило высокое качество полученного материала.

Проблемы организации автономных наблюдений на территории Кроноцкого биосферного заповедника

Долина Гейзеров расположена на территории Кроноцкого государственного биосферного заповедника. С 1996 г. наряду с другими особо охраняемыми территориями Камчатки она входит в состав комплексного объекта Всемирного природного наследия ЮНЕСКО «Вулканы Камчатки».

Режим особо охраняемой территории подразумевает отсутствие любых антропогенных воздействий на природу. Запрещено передвижение по территории заповедника и нарушение растительного покрова. Проведение сейсмологических наблюдений и все действия, необходимые для установки датчиков в грунт, были заранее согласованы с администрацией заповедника. Отсутствие вандализма на ненаселенной заповедной территории позволило отказаться от защитных мероприятий. В соответствии с руководством по установке сейсмических датчиков были подготовлены сейсмоямы, на дно которых засыпался сухой песок, на него укладывали временный сейсмпостамент – строительный шлакоблок. На постамент устанавливался сейсмометр, после чего яма засыпалась землей. На поверхности оставалась GPS-антенна, соединительные провода, коммуникационный блок для связи с сейсмометром, блок батарей питания. Такая схема установки обеспечила минимальное воздействие на окружающую среду, однако аппаратура осталась практически незащищенной.

Это привело к значительным неприятностям. Биоразнообразие заповедника включает крупных сильных хищников: медведя и росомаху. Животные любопытны и изобретательны. Появление на их территории незнакомых предметов не прошло незамеченным. На большинстве регистрирующих точек наблюдались следы посещения их животными: от надорванного защитного полиэтилена до многократно перевернутых и значительно перемещенных блоков батарей питания, вес которых превышает 15 кг. На станции в районе Долины Смерти был перекушен кабель GPS-антенны, а саму антенну найти так и не удалось. Станция на восточном склоне сопки Гейзерной была практически уничтожена: сейсмометр выворочен на поверхность, разорваны провода, следы зубов хищника остались на GPS-антенне и пластиковом транспортировочном контейнере для сейсмометра. Станция была досрочно снята и требует ремонта на уровне изготовителя. На сейсмических записях легко идентифицируются сигналы, связанные с посещением станций крупными представителями биоразнообразия, что само по себе достаточно интересно. Однако потери данных и повреждение аппаратуры не внушают оптимизма.

Таким образом, появление на территории заповедника незнакомых предметов и аппаратуры является фактором беспокойства для животных. Реакция колеблется от безобидного любопытства до агрессивного поведения, при этом высока вероятность отключения питания станций, потерь информации, поломки аппаратуры. В таких условиях проведение на территории заповедника любых автономных инструментальных наблюдений без применения сооружений, защищающих аппаратуру, нецелесообразно. Необходимо в дальнейшем при планировании сейсмологического и любого геофизического мониторинга специально заниматься этой проблемой, согласовывая защитные конструкции с руководством заповедника.

Обобщение результатов работ и заключение

В ходе полевых работ 2007-2008 гг. получены первые сейсмологические записи из района Долины Гейзеров. Полное отсутствие антропогенных помех позволяет регистрировать здесь широкий набор естественных сигналов: землетрясения (рис. 4), микро-сейсмическое излучение, неструктивную активность гидротермальной системы. В таких благоприятных условиях возможно получение уникальных микросейсмических данных, связанных с динамическими процессами в наиболее оползнеопасных участках Долины.

Результаты наблюдений будут использованы для обоснования целесообразности дальнейшего исследования этого района. В частности, выбранные точки наблюдений, на которых проведена пробная регистрация, могут быть рекомендованы в качестве пунктов для долговременного сейсмического мониторинга. Для организации стационарной сейсмической станции наиболее подходящим местом представляется территория, примыкающая к кордону «Долина Гейзеров» Кроноцкого заповедника. Подготовлен проект создания сейсмической микрогруппы в комплексе с пунктами GPS-мониторинга в районе Долины Гейзеров.

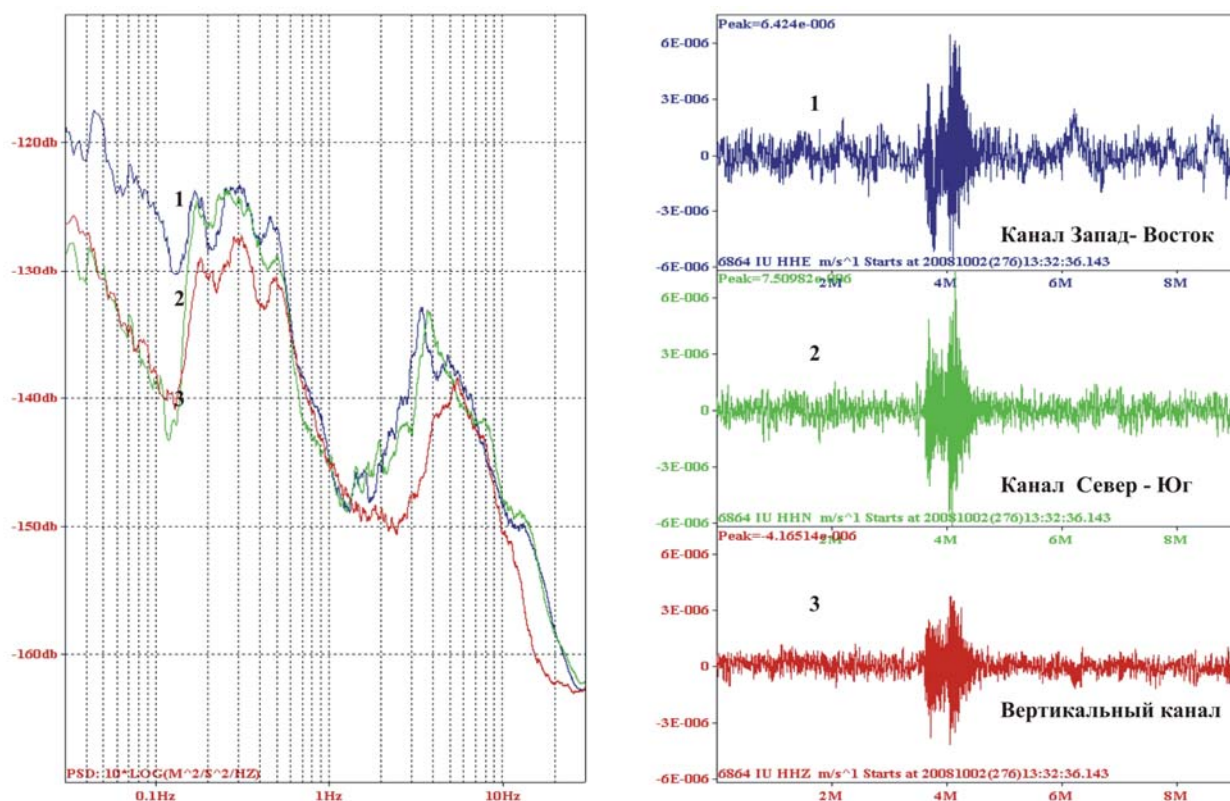


Рис. 4. Пример сейсмической записи со станции «Горное плато»: региональное землетрясение (2 октября 2008 г. 13 час.35 мин. 39.7 сек., класс $K=8.7$, эпицентральное расстояние порядка 220 км) и участок фонового сейсмического сигнала. Слева приведен спектр записи. Максимум в диапазоне частот 3-5 Гц соответствует землетрясению. В диапазоне частот 0.1-0.6 Гц основной вклад в уровень сигнала вносят микросейсмы. В низкочастотной части спектра обращает на себя внимание значительное превышение интенсивности колебаний на канале «запад-восток» над двумя другими каналами. Возможно, это связано с особенностями рельефа.

Благодарности. Авторы благодарны за всестороннюю поддержку специалистам Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН В.Л. Леонову и В.А. Дрознину. В подготовке аппаратуры и полевых работах принимали участие сотрудники Камчатского филиала Геофизической службы РАН В.И. Синицын, Е.С. Федоров, В.Н. Козлов, А.А. Коновалова, П.В. Воропаев, Д.В. Чебров. В подготовке материалов к обработке важная роль принадлежит Д.В. Дрознину. Полезные практические рекомендации по работе с сейсмометрами CMG-6TD авторы получили от Н.З. Захарченко, С.В. Захарченко и В.Н. Мишаткина (НПО «Вулкан», г. Обнинск). Хочется поблагодарить администрацию Кроноцкого государственного биосферного заповедника за понимание при согласовании работ и предоставление возможности полевому отряду базироваться на территории кордона «Долина Гейзеров». Полевые работы профинансированы Российским фондом фундаментальных исследований: экспедиционные проекты № 07-05-02107 и 08-05-10043.

Список литературы

- Белоусов В.И., Гриб Е.Н., Леонов В.Л. Геологические позиции гидротермальных систем Долины Гейзеров и кальдеры Узон // Вулканология и сейсмология. 1983. № 1. С. 65-79.
- Брайцева О.А., Флоренский И.В., Вольнец О.Н. Вулкан Кихпинич // Действующие вулканы Камчатки. Том 2. М.: Наука, 1991. С. 74-93.
- Гордеев Е.И., Гусев А.А., Левина В.И. и др. Мелкофокусные землетрясения п-ова Камчатка // Вулканология и сейсмология. 2006. № 3. С. 28-38.

Кугаенко Ю.А. Сейсмичность как фактор риска оползня 3 июня 2007 г. в Долине Гейзеров // Материалы конференции, посвященной дню вулканолога. 27-29 марта 2008 г. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2008. С. 163-172.

Кугаенко Ю.А., Салтыков В.А., Синицын В.И. Рекогносцировочные сейсмические наблюдения в Долине Гейзеров и кальдере Узон, декабрь 2007 г. // Материалы конференции, посвященной дню вулканолога, 27-29 марта 2008 г. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2008. С. 173-181.

Леонов В.Л. Геологические предпосылки оползня, произошедшего 3 июня 2007 г. в Долине Гейзеров // Геофизический мониторинг и проблемы сейсмической безопасности Дальнего Востока России. Т. 1. Петропавловск-Камчатский: ГС РАН, 2008. С. 91-95.

Леонов В.Л., Гриб Е.К., Карпов Г.А. и др. Кальдера Узон и Долина Гейзеров // Действующие вулканы Камчатки. М.: Наука, 1991. Т. 2. С.94-143.

Пинегина Т.К., Делемень И.Ф., Дроздин В.А. и др. Камчатская Долина Гейзеров после катастрофы 3 июня 2007 г. // Вестник ДВО РАН. 2008. № 1. С. 33-44.

Peterson J. Observation and modeling of seismic background noise. Open-file report 93-322. Albuquerque, New Mexico: U.S. Department of Interior Geological Survey, 1993. 96 p.

Lundgren P., Lu Zh. Inflation model of Uzon caldera, Kamchatka, constrained by satellite radar interferometry observations // Geophysical Research Letters. 2006. V. 33. L06301, doi:10.1029/2005GL025181

ЭТНОКУЛЬТУРНОЕ ПРОСТРАНСТВО ТИХООКЕАНСКОЙ РОССИИ: ТРИСТА ЛЕТ ЭВОЛЮЦИИ

Ларин В.Л., Тураев В.А.

*Институт истории, археологии и этнографии народов Дальнего Востока ДВО РАН,
Владивосток; e-mail: ihae@eastnet.febras.ru*

Современный мир стоит на распутье. С одной стороны, идет активный процесс глобализации и региональной интеграции. Идет вне зависимости и даже вопреки национальным границам. С другой – во многих точках мира усиливается стремления народов к самоидентификации, растут национализм, межэтническая напряженность. Человечество преодолело пространственный барьер, преодолевает политический, но барьер цивилизационный, этно-культурный остается серьезным препятствием на пути сближения стран, народов и территорий.

Для России, которая в начале XXI в. вновь декларировала свою решимость стать полноправным членом восточноазиатского сообщества, преодоление цивилизационного барьера во взаимоотношениях с азиатским миром является принципиальной задачей. Восточная Азия, отмечал известнейший в регионе политический деятель, бывший премьер-министр Малайзии Махатхир Мохамад, – это понятие не столько географическое, сколько культурное. «Для того, чтобы быть восточноазиатским народом, недостаточно находиться в правильном месте. Надо еще быть восточноазиатами по культуре. А культуры Восточной Азии очень сильно отличаются от культур Запада» - говорил этот активный проповедник идеи восточноазиатского регионализма (Dr. Mahathir, 1992).

Ясно, что для полноправного участия в восточноазиатских делах от России требуется существенное расширение этнокультурного взаимодействия в регионе. Насколько готова Россия и особенно дальневосточники к такому повороту событий? Как свидетельствуют опросы общественного мнения, многих наших соотечественников откровенно пугает такая перспектива. Их представления о своих соседях очень поверхностны и не всегда верны. Они оценивают их по своим, европеизированным параметрам, но в координатах Востока и Запада добро и зло совпадают далеко не всегда. Качества, которые россияне приписывают себе и своим азиатским соседям, кардинально отличаются. Подогреваемые средствами массовой информации и недобросовестными политиками, разнообразные фобии могут стать серьезным тормозом интеграционных процессов. Достаточно упомянуть постоянно присутствующий в умах славянского населения и бюрократии России синдром «желтой опасности», который активно влияет на ее взаимоотношения с соседями, как на региональном, так и на межгосударственном уровнях.

История тесных взаимоотношений России с крупными восточноазиатскими цивилизациями насчитывает всего лишь полтора столетия, чего явно недостаточно для преодоления глубокой ментальной пропасти, лежащей между ними. Однако восточные регионы России с древнейших времен являлись ареной широких культурных и межцивилизационных контактов, а опыт взаимодействия России с аборигенными – азиатскими – народами Сибири и Дальнего Востока насчитывает уже не одну сотню лет.

Приход русских на Дальний Восток реально положил начало территориальному сближению Европы и Восточной Азии, пересечению двух столь различных культурных пространств, явлению исключительно сложному и противоречивому. Отмечавшееся в 1999 г. 300-летие вхождения в состав России Камчатки, как в свое время и 500-летие открытие Колумбом Америки, вызвало неоднозначные оценки. В зависимости от политических пристрастий или этнической ангажированности можно по-разному оценивать эти три сотни лет. Но в любом случае их невозможно игнорировать, ибо это 300 лет совместной истории, которая кардинальным образом изменила не только образ жизни народов, их культуру, менталитет, но и само наше государство.

Заметный вклад в изучение этих процессов внесла Камчатская экспедиция Рябушинского, в составе которой работал этнологический отряд во главе с В.И. Иохельсоном. В ходе исследований было установлено наличие широких этнокультурных контактов древнего населения Камчатки с эскимосами, алеутами, айнами, японцами, индейскими племенами Америки в дорусский период их истории (Arheological..., 1928). Северо-восток Азии представлял тогда оживленный перекресток культур, своеобразный плавильный котел, в горниле которого рождались современные народы по разные стороны Тихого океана.

Можно выделить, по крайней мере, два крупнейших исторических последствия трехсотлетнего взаимодействия России с восточноазиатским миром. Первое состоит в том, что Сибирь, Дальний Восток не только превратили Россию из периферийного европейского государства в великую державу, но и во многом определили весь строй русской государственной жизни. Именно восточные регионы России в период многочисленных внутренних смут и военных конфликтов с западными соседями удерживали в равновесии вначале Московское царство, затем Российскую империю, а в недалеком прошлом и Советское государство. В этом отношении глубоко был прав Вс. Иванов (русский историк-эмигрант), когда писал, что «Восток стал носителем спокойной русской государственности» (Иванов, 2002). В ХУП – ХУІІІ веках Сибирь и Дальний Восток активно втягивали в себя «несогласный элемент», грозивший государству политическими катаклизмами. На рубеже ХІХ-ХХ веков они стали «социальным клапаном» в перегретом котле крестьянских волнений центральной России, во второй половине ХХ в. сыграли важную роль в решении проблемы «конфликта поколений». Массовое движение молодежи на стройки Сибири и Дальнего Востока открывало широкие возможности для ее карьерного роста и тем самым способствовало политической стабильности в государстве, оттягивало кризис советской системы (Алексеев и др., 2004).

Второй исторический результат – формирование на востоке страны особого ментально-географического пространства, особой региональной идентичности, которая всегда удивляла жителей «коренной» европейской России. Показательно в этом отношении восприятие Дальнего Востока А.П. Чеховым в конце ХІХ в.: «Пока я плыл по Амуру, у меня было такое чувство, как будто я не в России, а где-нибудь в Патагонии или Техасе; мне все время казалось, что склад нашей русской жизни совершенно чужд коренным амурцам и мы, приезжие из России, кажемся им иностранцами» (Чехов, 1980).

Психологическое и культурное своеобразие сибиряков и дальневосточников откровенно пугало правительственных чиновников. Существовало опасение, что, попав под влияние «инородцев» и иностранцев, русские люди потеряют национальные черты, поддадутся чужому влиянию, утратят чувство верноподданности. Реальной казалась опасность сибирского и дальневосточного сепаратизма по образцу европейских колоний в Северной Америке.

Подобные настроения особенно усилились во второй половине ХІХ в., когда на российском Дальнем Востоке появились представители восточно-азиатских цивилизаций – китайцы, корейцы, японцы. Эмиграция сыграла огромную роль в размывании этнокультурных барьеров. Русские в Китае, китайцы и корейцы в России способствовали обмену трудовым опытом, культурными достижениями, сближению народов наших стран. Взаимодействие русских переселенцев с носителями этих культур имело важное значение для подъема экономической жизни Дальнего Востока.

Отношение к китайским и корейским эмигрантам со стороны русской администрации было различным. Уполномоченный Российского министерства иностранных дел В.В. Граве считал корейцев «несомненно полезным элементом». «Оседание корейцев и связанное с ним приведение в культурный вид глухих мест в тайге, - писал он, - кроме пользы ничего принести не может» (Граве, 1912). Совершенно других взглядов придерживался генерал-губернатор Приамурья П.Ф. Унтербергер: «Я предпочитаю пустыню, но русскую, чем край возделанный, но корейский» (Аносов, 1928). Очень не хотелось бы, чтобы по-

добная точка зрения, а она, увы, существует и сегодня, возобладала в новых исторических условиях.

Трехсотлетнее присутствие русского человека на Дальнем Востоке показывает несостоятельность многих опасений, бытовавших во власти и обществе в разные годы. Действительно, в ходе хождения «встреч солнца» русский человек заметно изменился в своих мыслях и предпочтениях, но не перестал быть русским. При всех изменениях, по словам Г.В. Вернадского, «русская народность и русская культура, постоянно видоизменяясь, сохраняла все-таки свои основные черты» (Вернадский, 1914). Любопытно, что и сегодня, после разрушительного десятилетия «рыночных реформ», когда Дальний Восток в головах многих московских чиновников стал восприниматься не иначе как камень на шее государства, коренные дальневосточники выступают большими патриотами России и русского, чем многие их соотечественники в европейской части страны. Об этом свидетельствуют социологические опросы.

Другая составляющая проблемы этнокультурного взаимодействия в регионе – историческая судьба аборигенных культур в процессе этнокультурных контактов. Мировой исторический опыт свидетельствует, что результаты такого взаимодействия могут быть различны. Возможно уничтожение одной культуры другой. Более распространенным результатом является не гибель одной из взаимодействующих культур, а ее вытеснение на периферию новой цивилизации, переход в некое маргинальное состояние. Так часто происходит, когда сталкиваются более простые цивилизации с более сложными, местные аборигенные культуры с пришлыми высокоразвитыми. И, наконец, еще один вариант, когда в ходе контактов культур рождается нечто новое. Классический пример такого взаимодействия – рождение современных латиноамериканских цивилизаций, сложившихся в результате длительных контактов европейцев с местными индейскими племенами. Именно по такому пути и шло долгое время этнокультурное взаимодействие на Дальнем Востоке.

Этнокультурное взаимодействие русских жителей региона с их новыми соседями-аборигенами в силу разного уровня их развития носило асимметричный характер, но в роли донора и реципиента выступали и те и другие. Природная среда не могла не породить однотипность трудовой деятельности аборигенов и новопоселенцев, сформировать общую культуру жизнеобеспечения. Это в свою очередь облегчало контакты. Результатом взаимодействия русского и аборигенного населения на Северо-востоке к началу XX в. стало причудливое переплетение субкультур. Аборигенная цивилизация не исчезла, она лишь потеснилась, освобождая жизненное пространство для других культур, которые походили на русскую в столь же малой степени, сколь на аборигенную. Яркими представителями этих субцивилизаций стали хорошо известные этнографам камчадалы, марковцы, русскоустыинцы, другие локальные группы.

Все это, разумеется, не означает, что процесс взаимодействия был простым и безболезненным. Первая, совершенно естественная на начальном этапе взаимодействия реакция – отрицание. Люди не вникают в существо нового мира, не ищут в нем привлекательные черты. Его отмечают безоговорочно только потому, что он чужой. На этом этапе взаимодействие двух миров, двух культур характеризуется жестким противостоянием. Так происходило во всем мире, и Россия здесь не исключение. Сибирь и Дальний Восток были завоеваны в огне локальных войн, восстаний, мелких стычек.

Безусловно, степень этого неприятия может быть разной. Она обусловлена, как правило, разностью культурного потенциала контактирующих этносов. Именно этим, на наш взгляд, и объясняется сравнительно недолгий и менее жесткий, чем, скажем, в США, период противостояния (на Камчатке это первые сорок лет ХУШ в.). В ментальности русских, волей судьбы заброшенных в самую гущу дальневосточных народов, при всей непохожести их культур, было гораздо больше точек соприкосновения с их новыми соседями, чем это можно предполагать. В силу этого взаимодействие на первом, самом сложном его этапе было менее болезненным для тех и других.

Коренные народы Дальнего Востока с первых дней их вхождения в состав российского государства рассматривались как подданные государства. В этом принципиальное отличие российской политики по отношению к аборигенам от аналогичной политики США, где индейцы не считались гражданами государства. Цивилизаторская миссия российского правительства по отношению к аборигенам Дальнего Востока преследовала их социально-культурную инкорпорацию в состав России. Она проявлялась в двух основных тенденциях: окрестьянивание аборигенов (перевод их на оседлость, привлечение к земледелию) и их обрусение, основным инструментом которого была христианизация. Ни в том, ни в другом случае особых успехов достигнуто не было. Православие, насильно навязанное и воспринятое чисто формально, не превратилось в социокультурный процесс, в рамках которого только и возможна культурная интеграция. Не состоялась на Дальнем Востоке и земледельческая колонизация. Попытки правительства переселить сюда крестьян не имели успеха до тех пор, пока к России не отошел более благоприятный в земледельческом отношении Приамурский край.

Правительство, безусловно, может влиять на процесс взаимодействия культур, но возможности его в этом, как правило, достаточно ограничены. Есть немало аспектов, перед которыми бессильны любые властные и идеологические институты. На Дальнем Востоке не было геноцида аборигенов, однако с этой задачей не менее успешно справлялись всевозможные болезни, которых местное население до встречи с европейцами не знало. Достаточно сказать, что только в 1768 г. оспа унесла две трети всего населения Камчатки.

Следствием эпидемий стали миграции и ассимиляция ослабленных болезнями и высокой смертностью этнических групп. Спасаясь от болезней, люди покидали родные места и оказывались в иноэтническом окружении. На этой почве развивались ассимилятивные процессы, рождались новые народы.

Другой важный результат взаимодействия — мисцегенация (физическое смешение). Исторические последствия этого явления весьма примечательны. На российском Дальнем Востоке метисация, не получившая широкого распространения вплоть до 30-х гг. XX в., не затрагивала социальных основ аборигенных обществ. Малочисленность русского населения, его стабильный состав, особенности половой структуры (преобладание мужчин) способствовали тому, что дети в таких браках были желанны и любимы. Они становились связующим звеном между двумя культурами. В условиях изолированности в результате метисации в бассейнах Колымы, Камчатки, Анадыря, где концентрировалось основное русское население, уже к концу ХУШ в. сформировались новые этнокультурные общности. Это уже упоминавшиеся камчадалы, марковцы, колымчане, отличавшиеся не только физическим обликом, но и языком, особенностями духовной и материальной культуры. В целом, генеральной линией государственной политики России по отношению к аборигенам являлась консервация их форм социальной организации, быта и хозяйствования. Из четырех типов этнокультурного взаимодействия, известных в мировой истории (прибавление, убавление, усложнение, обеднение), у аборигенов Дальнего Востока господствующей к началу XX в. стало усложнение — обогащение первоначальной культуры инновациями, ведущими к известной перестройке цивилизационных основ.

Ситуация в корне изменилась после 1917 года. Государством был взят курс на унификацию образа жизни всех народов страны. Социалистическая модернизация, хотя и принесла определенные достижения, оказалась, в конечном счете, разрушительной для коренных народов Дальнего Востока. Насильственный перевод на оседлый образ жизни, индустриальное освоение тайги и тундры без учета интересов и потребностей коренного населения, насильственное включение аборигенов в индустриальную систему, постоянно меняющиеся условия существования породили психологическую напряженность, пьянство, пессимизм и люмпенизацию.

Новая Россия, признав неверную ориентацию советской национальной политики на Севере, к сожалению, не сумела предложить в этом отношении ничего нового. Более того, если советская политика была по-своему логичной и последовательно проводилась в

жизнь, то в настоящее время все ограничивается декларациями о возрождении народов Севера.

Налицо парадоксальная ситуация. В стране наблюдается устойчивый экономический рост, а социально-экономическое положение в национальных поселках ухудшается. Принят ряд законов по важнейшим вопросам жизнедеятельности коренных народов, в том числе о территориях традиционного природопользования, однако, не один из них не работает из-за отсутствия механизмов реализации, больше того, зачастую они подвергаются настоящей ревизии. На традиционных землях аборигенов осуществляются масштабные промышленные проекты, однако, приводят они не к повышению благосостояния коренных народов, а к росту безработицы и снижению качества жизни.

Традиционная экономика этих народов, несмотря на определенные усилия государства и отдельные положительные примеры, никак не хочет вписываться в рыночные отношения. Тревожной является демографическая ситуация, откровенно угрожающей стала проблема алкоголизации коренного населения. Серьезной гуманитарной проблемой является реальная угроза исчезновения аборигенных языков. На Камчатке она наиболее остро стоит для ительменов и алеутов. По существующей классификации ительменский язык относится к категории «смертельно больных языков», язык командорских алеутов можно уже относить к «мертвым языкам»: в 2002 г., согласно переписи населения, на нем говорило 33 человека.

Новый этап этнокультурного взаимодействия в регионе требует осмысленной стратегии в отношении коренных народов. Как показывает опыт последнего десятилетия, концепция *неотрадиционализма*, весьма популярная среди самих аборигенов и ими же положенная в основу своего развития в постсоветский период, оказалась не жизнеспособна. Основанная на идеализации традиционного хозяйственного и социально-культурного уклада, она ведет к изоляции аборигенных общин от современных форм организации общественной жизни.

Тем более не годится концепция *евромодернизма*, известная в советский период как «некапиталистический путь развития», ибо предполагает полную интеграцию коренных народов в современную систему хозяйствования и доминирующую культуру. Следствием такой стратегии является ассимиляция. В современной жизни она приемлема для известной, весьма значительной части аборигенов в городах и крупных многонациональных поселениях, но губительна для жителей небольших национальных поселков, где сохраняются в той или иной степени традиционные системы жизнеобеспечения.

Для эффективного решения проблем малочисленных народов нужна новая стратегия – стратегия *многовариантного саморазвития*. Она предполагает разные подходы, как к отдельным этническим общностям, так и разным социальным группам аборигенного населения. Составными элементами такой стратегии могут быть: синтез традиционного природопользования, натурального хозяйства и рыночных отношений; переход от политики государственного патернализма к *государственному протекционизму* и активному сотрудничеству с народами Севера; привлечение представителей коренных народов к обсуждению и принятию решений, затрагивающих их интересы, через легитимные консультативные органы; институт *соуправления*, в котором органы государственной власти, малочисленные народы, хозяйствующие субъекты разделяют между собой права и обязанности по управлению конкретными территориями и их природными ресурсами; всемерная поддержка со стороны органов государственной власти и местного самоуправления различных форм самоорганизации коренных народов через изменение самой идеологии законодательства в отношении этих народов, через бюджетную и налоговую политику.

На новом этапе межкультурного взаимодействия с азиатским миром принципиально важным представляется вопрос: Какой *образ* примет этнокультурное пространство Тихоокеанской России у наших восточных соседей, какое место займет в этом образе *аборигенный компонент*? «Власти тех субъектов федерации, где проживают народы Севера, справедливо замечает по этому поводу директор Института этнологии и ан-

тропологии РАН академик В.А. Тишков, должны представить миру свой образ не как «банкрота, где вымирают аборигены», а как развивающийся и богатый своей историей, природой и культурой край России» (Современное..., 2004).

С этих позиций, думаем, не будет преувеличением сказать, что для имиджа Камчатки национальные ансамбли «Эльпель» и «Мэнго» уже сегодня значат ничуть не меньше, чем ее прекрасные вулканы и рыбные богатства.

Список литературы

- Аносов С.Д.* Корейцы в Уссурийском крае. Хабаровск-Владивосток, 1928. С. 8.
- Алексеев В.В., Алексеева Е.В., Зубков К.И., Побережников И.В.* Азиатская Россия в геополитической и цивилизационной динамике. ХУ1-ХХ вв. М., 2004. С. 551.
- Вернадский Г.В.* Против солнца: Распространение русского государства к Востоку // Русская мысль. 1914. № 1. С. 58.
- Граве В.В.* Китайцы, корейцы и японцы в Приамурье // Труды Амурской экспедиции. Вып. Х1. СПб., 1912. С. 194.
- Иванов В.С.* Мы: культурно-исторические основы русского государства // Вестник МГУ. Сер.18. Социальные и политические науки. 2002. № 2. С. 103.
- Современное положение и перспективы развития малочисленных народов Севера, Сибири и Дальнего Востока: Независимый экспертный доклад. М., 2004. С. 181.
- Чехов А.П.* Остров Сахалин (из путевых заметок). Южно-Сахалинск, 1980. С. 16.
- Arheological Innestigations in Kamchatka by Woldemar Jochelson*, published by the Carnegie Institution of Waschington, August 1928. См. также: Вестник ГО СССР, 1930. № 42. Вып. 3 и 4.
- Dr. Mahathir Bin Mohamad* speech delivered at the Europe / East Asia Economic Forum, October, 19 92, Hongkong. The Japan Times, 1992. Oct. 26.

ГЕОЛОГИЯ ПОДВОДНОГО ХРЕБТА ВИТЯЗЯ НА ТИХООКЕАНСКОМ СКЛОНЕ КУРИЛЬСКОЙ ОСТРОВНОЙ ДУГИ

Леликов Е.П., Емельянова Т.А.

*Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, Владивосток;
e-mail: lelikov@poi.dvo.ru*

Введение

26 декабря 2004 г. вблизи северной оконечности о-ва Суматра, входящего в состав Зондской островной дуги, произошло катастрофическое землетрясение, вызвавшее цунами огромной разрушительной силы, следствием которого погибло более 200 тысяч человек. Указанные события привели к активизации исследований по оценке тектонического состояния сейсмоопасных и цунамигенных районов Российской Федерации. Одним из таких районов является Курило-Камчатская островодужная система, в пределах которой геодинамические процессы весьма сходны с геодинамикой зоны конвергенции литосферных плит в пределах Зондской дуги (Лаверов и др., 2006).

Курило-Камчатская островная дуга соответствует зоне субдукции, в которой происходит погружение Тихоокеанской плиты под Азиатский континент. Данные по механизмам очагов землетрясений свидетельствуют о том, что преобладающим типом напряжений здесь является сжатие, ось которого ориентирована в крест простираения островной дуги. В центральной части Курильской островной дуги располагается так называемая «сейсмическая брешь», в пределах которой в течение длительного времени не было отмечено ни одного сильного землетрясения. Выделение «сейсмических брешей», предложенное Федотовым (Федотов, 1965), основывалось на том, что области очагов сильнейших землетрясений не должны перекрывать друг друга. Им были выделены подобные участки в юго-западной, северо-восточной и центральной части Курило-Камчатской дуги. Два первых участка были заполнены сильнейшими землетрясениями. В пределах Центрально-Курильской «сейсмической брешки» сильные землетрясения имели место в 1915 и 1918 гг., т. е. этот участок оставался пассивным на протяжении 90 лет.

В пределах этой части дуги и были проведены морские экспедиционные работы в рейсах на НИС «Академик М. Лаврентьев» в 2005 (рейс 37) и 2006 годах (рейс 41), организованные Тихоокеанским океанологическим институтом ДВО РАН и Институтом океанологии РАН. Работы проводились по проекту «Изучение строения центральной части Курило-Камчатской островной дуги как возможного очага катастрофического цунамигенного землетрясения», который получил государственную финансовую поддержку для выполнения морских экспедиций. В задачу экспедиций входило изучение тектонического каркаса и других структурно-вещественных характеристик фундамента и осадочного чехла в пределах фронтального склона дуги между островами Уруп и Парамушир для оценки его сейсмогенного потенциала.

После завершения наших работ в районе «сейсмической брешки» произошли сильные землетрясения – 15 ноября 2006 г. с магнитудой 8.4 балла и 13 января 2007 г. с магнитудой 8.1 балла. Эти события подтвердили актуальность изучения «сейсмической брешки».

В рейсах наряду с геофизическими исследованиями (гравиметрическая, гидромагнитная съемка и непрерывное сейсмопрофилирование) проводились геологические работы с целью изучения геологического строения и истории развития этих структур. Они заключались в получении каменного материала путем драгирования хребта Витязя в районе «сейсмической брешки», включающей северное плато этого хребта, районы проливов Буссоль и Дианы.

Результаты геологических работ

В морфоструктурном плане район исследований располагается между Курильскими островами и Курило-Камчатским глубоководным желобом и включает в

себя приостровной борт желоба, подводный хребет Витязя, который рассматривается в качестве внешней, невулканической дуги в общей системе дуга-желоб и междуговой прогиб, обособляющий хребет Витязя от Курильских островов. Глубина поверхности хребта колеблется от 150-200 м до 900-1000 м. На юго-восток его склон опускается к Курило-Камчатскому желобу, а на северо-запад в сторону прогиба, отделяющего его от горного сооружения дуги. Геологические работы проводились на трех полигонах охватывающих оба отрезка хребта (рис. 1). Полигон Витязь, охватывает юго-западную оконечность северного плато. Полигон Диана располагается к востоку от острова Симушир и охватывает внешний склон Большой Крильской гряды и южный отрезок северного плато хребта Витязя. Полигон Буссоль охватывает вершину южного плато, северо-западный и северо-восточный его склоны и частично грабен Буссоль (Леликов и др., 2008а).

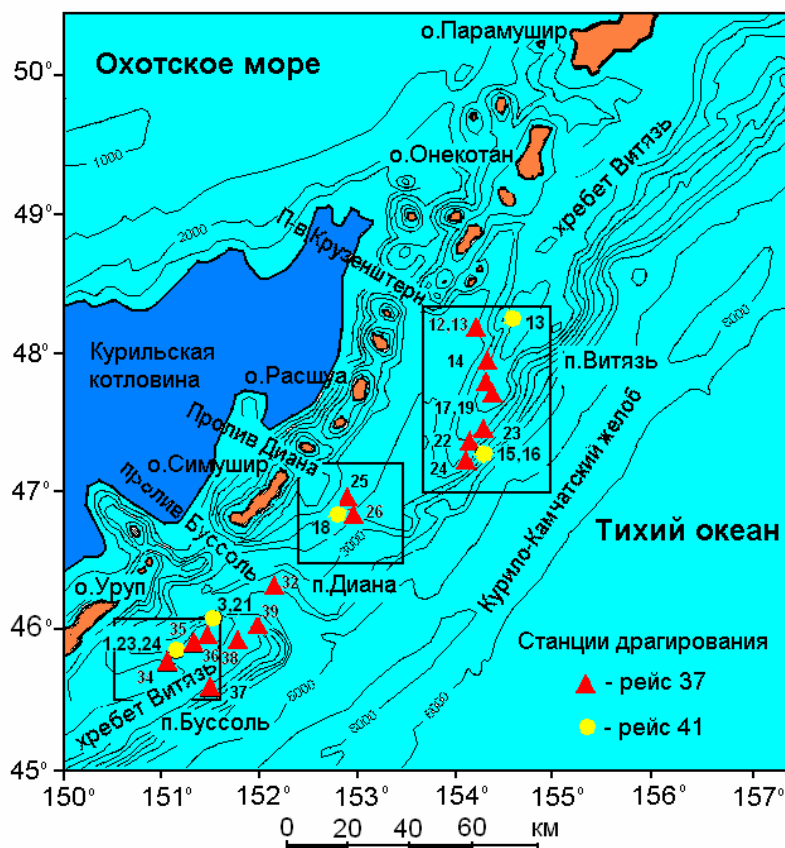


Рис. 1. Схема расположения полигонов и станций драгирования.

Особенностью строения фронтальной зоны центральной части Курильской дуги является наличие на фоне структур преобладающего сжатия, поперечной к направлению дуги структуры растяжения в виде рифтогенного грабена Буссоль, который находится в центральной части дуги на траверсе пролива Буссоль (Васильев, Суворов, 1979). Этот грабен является границей между очагом сильнейшего землетрясения 1963 г. и «сейсмической брешью».

Исследованный район по данным Р.Г. Кулинича с соавторами (Кулинич и др., 2007) представляет собой зону активного растяжения и деструкции центральной части Курило-Камчатской островной дуги. Юго-западной границей зоны служит тектоническая система пролива Буссоль, ориентированная в северо-западном направлении. Северо-восточная ее граница простирается в субмеридиональном направлении от Курило-Камчатского желоба на юге до о. Онекотан на севере. Обе границы имеют тектоническую природу и образованы серией разломов сбросового характера. Морфологически эта зона составляет центральную погруженную часть хребта Витязя, акустический фундамент которой состоит из наклонных блоков, типичных для условий растяжения. Гравиметрические и

магнитометрические данные позволили разделить изученную структуру на четыре крупных блока (I-IV) протяженностью 50-90 км, определивших, видимо, основную делимость фундамента и коры в целом. Деструктивные процессы в пределах зоны имели наложенный характер и включили в себя не только структурные деформации, но и активный магматизм преимущественно вулканогенного типа. Внутреннее строение зоны деструкции осложнено горсто-грабеновыми структурами.

В процессе выполнения геологических работ было проведено драгирование (31 результативная станция), при котором были подняты разнообразные породы, слагающие фундамент и осадочный чехол хребта в пределах всех выделенных блоков (рис. 1). Данные драгирования совместно с геофизическими материалами позволили построить геолого-структурную карту хребта Витязя (рис. 2).

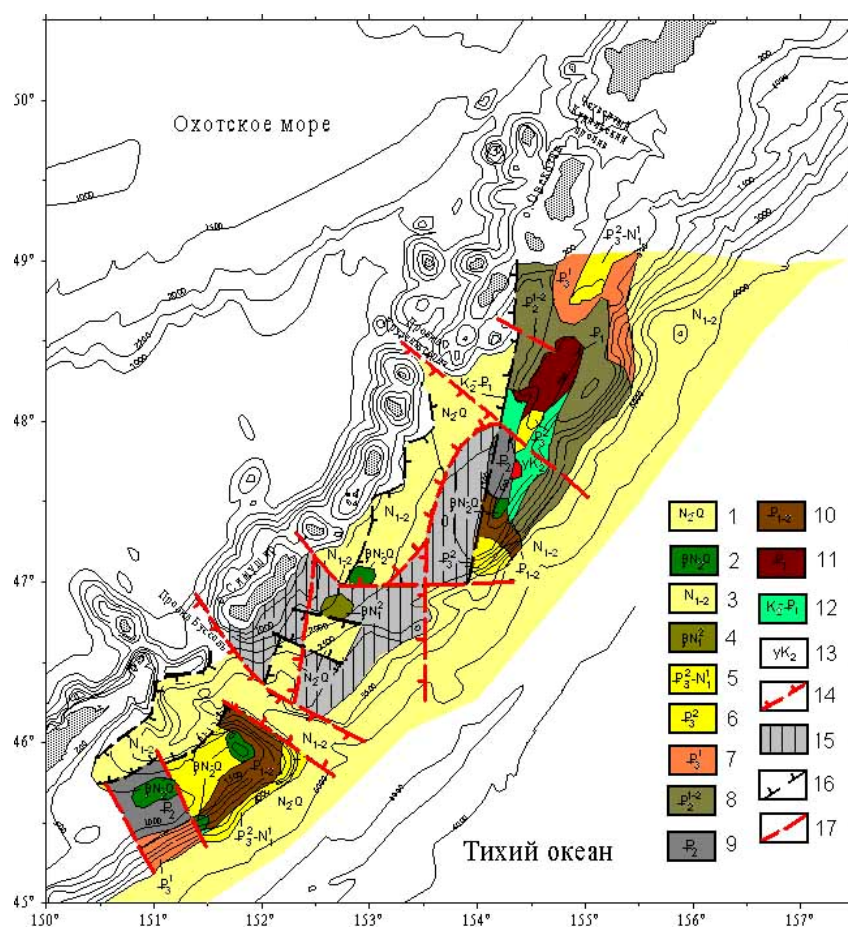


Рис. 2. Геологическая карта хребта Витязя. 1 – плиоцен-плейстоцен (туфодиациты, туфопесчаники, туфоалевролиты, диатомовые туффиты); 2 – плиоцен-плейстоцен (базальты, андезибазальты, андезиты, кластолавы андезитов); 3 – верхний миоцен-плиоцен (туфы, туфоконгломераты, туфопесчаники, алевролиты, диатомиты); 4 – средний миоцен (андезиты, андезидациты, дациты); 5 – олигоцен – нижний миоцен (туфодиациты, туффиты, туфоалевроаргиллиты, туфы); 6 – поздний олигоцен (андезиты, туфы андезитов и риолитов); 7 – ранний олигоцен (туфодиациты, алевролиты); 8 – ранний – средний эоцен (туфы, туфодиациты, диатомовые песчаники, алевролиты); 9 – эоцен (туфы андезибазальтов, андезитов, игнимбриты, дациты, риолиты гранит-порфиры); 10 – палеоген нерасчлененный, терригенный комплекс (конгломераты, гравелиты, песчаники); 11 – палеоцен (базальты, туфы базальтов, туфопесчаники); 12 – поздний мел – ранний палеоген, кремнисто-терригенная толща (кремнистые алевроаргиллиты, алевролиты, песчаники); 13 – поздний мел (гранит-порфиры); 14 – границы максимальной деструкции фронтальной зоны Курильской островодужной системы по Р.Г. Кулиничу; 15 – скрытые выступы консолидированного фундамента; 16 – границы осадочных прогибов и грабенов различных рангов; 17 – разломы различных рангов по Р.Г. Кулиничу.

На основании определений радиоизотопного возраста поднятых образцов пород (табл. 1), петрогеохимических и палеонтологических данных, а также сравнительного анализа с образованиями прилегающей суши и дна Охотского моря проведено разделение этих пород на несколько возрастных комплексов: позднемеловой-раннепалеогеновый (поздний кампан - дат), палеоценовый, палеоцен-эоценовый (нерасчлененный), ранне-среднеэоценовый, олигоценовый, олигоцен-раннемиоценовый, среднемиоценовый, раннемиоцен-плиоценовый и плиоцен-плейстоценовый.

Таблица 1. Радиоизотопные определения возраста вулканитов хребта Витязь

№	№ пробы	Широта	Долгота	Инт. драгирование, м	K%±σ, %	⁴⁰ Ar _{рад} ±σ, нг/г	Возраст ±1.6σ, млн. лет
1	Lv-41-13	48° 19.86'	154° 31.26'	380-240	1.73±0.02	6.77±0.09	55.5±1.6
2	Lv-37-17-6	47° 42.690'	154° 23.208'	1770-1500	4.67±0.05	16.55±0.10	50.4±1.2
3	Lv-37-14-4	47° 57.019'	154° 20.066'	1450-1200	1.92±0.02	6.78±0.09	50.2±1.6
4	Lv-37-17-8	47° 42.690'	154° 23.208'	1770-1500	3.45±0.04	11.45±0.10	47.2±1.4
5	Lv-37-24-2	47° 16.015'	154° 06.770'	1900-1700	2.23±0.03	4.29±0.11	27.5±1.6
6	Lv-41-18-5	46° 44.46'	152° 39.06'	1880-1550	0.62±0.015	0.625±0.022	14.5±1.2
7	Lv-37-37-6	45° 33.784'	151° 33.306'	2200-1900	0.82±0.015	0.607±0.013	10.7±0.6
8	Lv-41-23	45° 48.06'	151° 03.00'	880-650	0.49±0.015	0.147±0.004	4.3±0.3
9	Lv-41-24	45° 46.01'	151° 03.00'	660-610	1.39±0.02	0.397±0.004	4.1±0.1
10	Lv-37-39-1	46° 02.142'	151° 55.161'	1600-1400	1.49±0.02	0.341±0.014	3.3±0.3
11	Lv-41-15-10	47° 29.7'	154° 10.86'	1125-790	1.31±0.02	0.275±0.003	3.0±0.2
12	Lv-37-25-1	46° 56.958'	152° 53.644'	1870-1600	0.30±0.015	0.034±0.003	1.6±0.3
13	Lv-37-17-11	47° 42.690'	154° 23.208'	1770-1500	4.46±0.05	15.41±0.16	49.2±0.15
14	Lv-37-19-3	47° 42.908'	154° 22.670'	1800-1500	3.80±0.04	19.8±0.2	74±2

Примечание. 1 - туф базальта; 2, 6 –дациты; 3 – туф андезита; 8, 10, 11 – андезибазальты; 4 – игнимбрит; 5 - туфолава андезита; 7, 9 – андезиты; 12 – базальт; 13, 14 - гранит-порфиры. Определения выполнены К-Ar методом в лаборатории изотопной геохимии и геохронологии ИГЕМ РАН.

Позднемеловой комплекс представлен биотит-роговообманковыми гранит-порфирами, представляющими собой малоглубинные субвулканические образования.

Позднемеловой - раннепалеогеновый вулканогенно – кремнисто - терригенный комплекс сложен биотит-роговообманковыми дацитами и риолитами, а также толщей кремнистых алевроаргиллитов, алевролитов, песчаников. Возраст радиоляриевой ассоциации из кремнистых алевроаргиллитов устанавливается в пределах позднего кампана – начала раннего палеоцена. Выдержанный состав и характер переслаивания туфогенно-кремнистых пород первого комплекса Северного плато могут свидетельствовать о их формировании в глубоководных морских условиях в относительно спокойной тектонической обстановке со слабо проявленной эксплозивной вулканической деятельностью (Леликов и др., 2008а).

Породы грубообломочного вулканно-терригенного палеогенового нерасчлененного комплекса вместе с вулканитами эоценового и позднеолигоценового комплексов, в которых развиты игнимбриты и спекшиеся туфы, представляют собой единый палеогеновый пирокластически-осадочный субаэрально-мелководный комплекс. Для осадочных пород характерно отсутствие слоистости, грубообломочный состав, слабая степень дезинтеграции, плохая сортировка, наличие детрита растений, красноватый облик конгломератов. Все это может говорить о мелководных, прибрежноморских условиях их образования и незначительной транспортировке обломочного материала от источников питания.

Слаболитифицированные породы кайнозойского чехла – это смешанные вулканогенно-осадочные образования, осадочный материал которых представлен панцирями диатомей и небольшой примесью глинистого вещества. Нижнеолигоценовые

(подзона «а» 33.7-31.0 млн. лет) отложения формировались преимущественно в шельфовых условиях. А их нахождение на глубинах 1900-2200 м указывает на значительное погружение хребта Витязя в олигоцене. В позднеолигоцен-раннемиоценовое время (24.0-20.3 млн. лет) в районе южного плато осадконакопление происходило преимущественно в батинальных условиях. А на северном плато, в осадках которого установлен споро-пыльцевой комплекс, оно осуществлялось в мелководных морских условиях вблизи побережий. В верхнеплиоцен-нижнеплейстоценовых отложениях (5.5-3.5 и 2.0-1.0 млн. лет) преобладают океанические виды диатомей, что указывает на глубоководные условия их формирования (Леликов и др., 2008а).

Вулканиды хребта Витязь представлены в основном базальтами и андезитами, и лишь олигоценные образования сформированы пирокластическими породами умеренно-кислого и кислого состава. Это согласуется с данными магнитометрии о том, что консолидированный фундамент хребта представлен преимущественно магнитоактивными геологическими комплексами, в качестве которых должны выступать магматогенные формации базитового ряда. На основании радиоизотопного анализа вулканиды подразделяются на несколько возрастных комплексов (табл. 1).

Палеоценовый комплекс сложен клинопироксен-плагиоклазовыми базальтами, порфирокластическими литокластическими туфами базальтов и туфопесчаниками. Эоценовые породы представлены псефо-псаммитовыми кристаллокластическими туфами андезито-базальтов, андезитов и игнимбритами умеренно кислого состава, реже биотит-роговообманковыми дацитами и биотит-роговообманковыми гранит-порфирами.

Позднеолигоценный комплекс сложен андезитами, алевритовыми кристаллокластическими туфами андезитов и риолитов, и спекшимися туфами риолитов. Среднемиоценовые вулканиды представлены амфибол-клинопироксеновыми андезидацитами, клинопироксен-плагиоклазовыми и двупироксен-плагиоклазовыми андезитами. К плиоцен-плейстоценовому вулканическому комплексу отнесены оливин-клинопироксен-плагиоклазовые, клинопироксен-плагиоклазовые базальты, амфибол-двупироксен-плагиоклазовые андезиты и кластолавы клинопироксен-плагиоклазовых андезитов (Леликов и др., 2008б).

Все изученные магматические породы обладают многими общими геохимическими особенностями (рис. 3). К ним относятся средние или повышенные содержания Al_2O_3 (16.17-18.20%), повышенные – CaO (6.34-9.37%) и суммы Fe (7,20-9.11), а также средние или повышенные содержания суммы щелочей (2.09-4.61%) с преобладанием Na_2O над K_2O и низкий уровень титанистости (TiO_2 – менее 1.0%). Для пород свойственны пониженные содержания элементов группы железа (Co, Ni, Cr и V) и некоторых высокотоксичных элементов (Nb и Y).

Позднеолигоценные вулканиды характеризуются повышенными содержаниями Rb (до 153.84 г/т) и пониженными – Sr (151.23-572.94 г/т). Для них свойственен слабо фракционированным спектром распределения редкоземельных элементов (REE), нормированных к хондритовому стандарту, и низкие отношения La/Sm и La/Yb, которые составляет 1.91-3.54 и 3.48-9,72 соответственно (рис. 4).

Плиоцен-плейстоценовые вулканические породы относятся к умеренно - или высокоглиноземистым, высокоизвестковистым и низкотитанистым образованиям с низкими содержаниями элементов группы Fe: Co (11.87-29.70 г/т), Cr (3.93-36.58 г/т), Ni (0.62-16.34 г/т) и V (108.57-380.39 г/т). Породы характеризуются разными концентрациями K_2O – от 0.36% до 2.18%, что соответствует составу толеитовых, известково-щелочных и субщелочных вулканитов Курильской островной дуги и Курильской котловины (табл. 2, рис. 3). Гетерогенность геохимического состава очевидна и по показателям других элементов. Так, концентрации крупноионных литофильных элементов варьируют в следующих пределах: Rb – от 3.80 до 25.05 г/т, Sr – от 266.59 до 739.06 г/т и Ba – от 241.35 до 390.00 г/т. Плиоцен-плейстоценовые вулканиды демонстрируют различный характер распределения REE (рис. 5). Толеитовые разности

(оливин-клинопироксен-плагиоклазовые базальты) характеризуются практически не фракционированным спектром распределения, т.е. низкими концентрациями LREE и соответственно низкими значениями отношений La/Sm (0.82) и La/Yb (0.83). По мере повышения щелочности и калиевости пород в двупироксен-плагиоклазовых базальтах и амфибол-двупироксен-плагиоклазовых андезибазальтах и андезитах спектр распределения REE становится более фракционированным за счет повышения содержаний LREE, а отношения La/Sm и La/Yb повышаются до 2.23 и 3.19 соответственно.

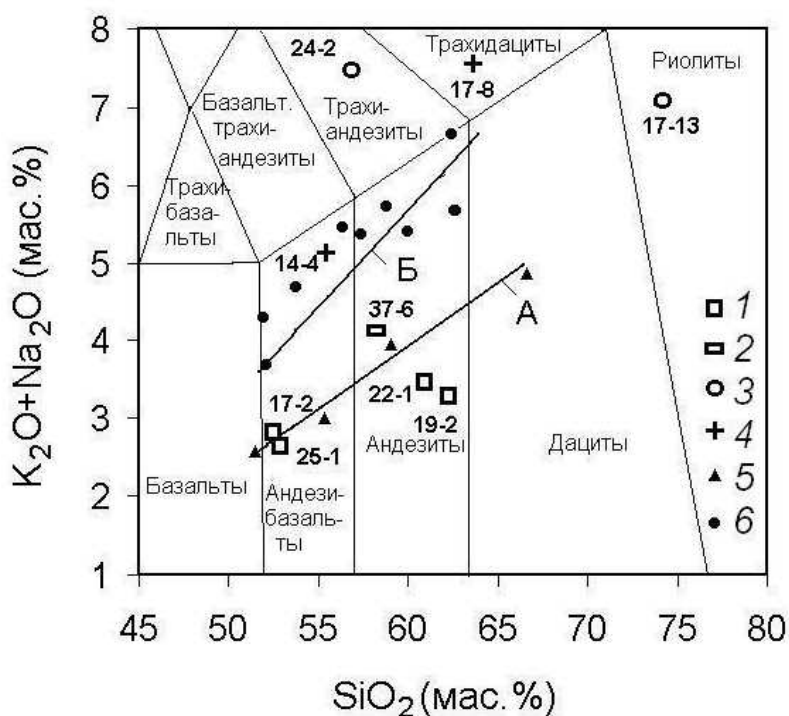


Рис. 3. Диаграмма «щелочи-кремнезем» для вулканитов хребта Витязя и Курильской дуги: 1 – плиоцен-плейстоценовых, 2 – миоценовых, 3 – позднеолигоценовых, 4 – эоценовых, 5-6 – плиоцен-плейстоценовых вулканитов: 5 – фронтальной зоны Курильской дуги, 6 – Курильской котловины. Прямыми линиями обозначены тренды вулканитов (Пискунов, 1987): А – фронтальной зоны Курильской дуги, Б – Курильской котловины.

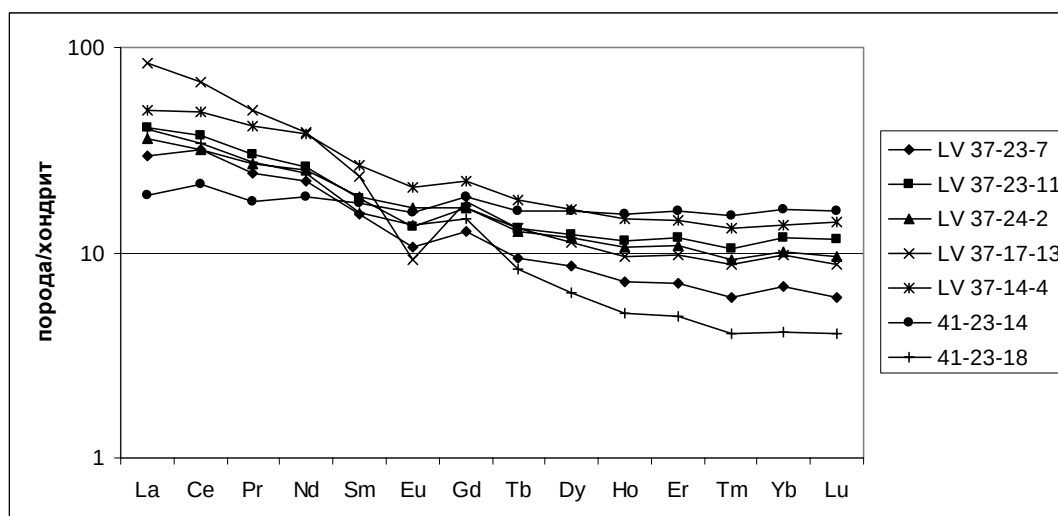


Рис. 4. Диаграмма распределения редкоземельных элементов для позднеолигоценовых вулканитов. Название пород представлено в табл. 1, 2.

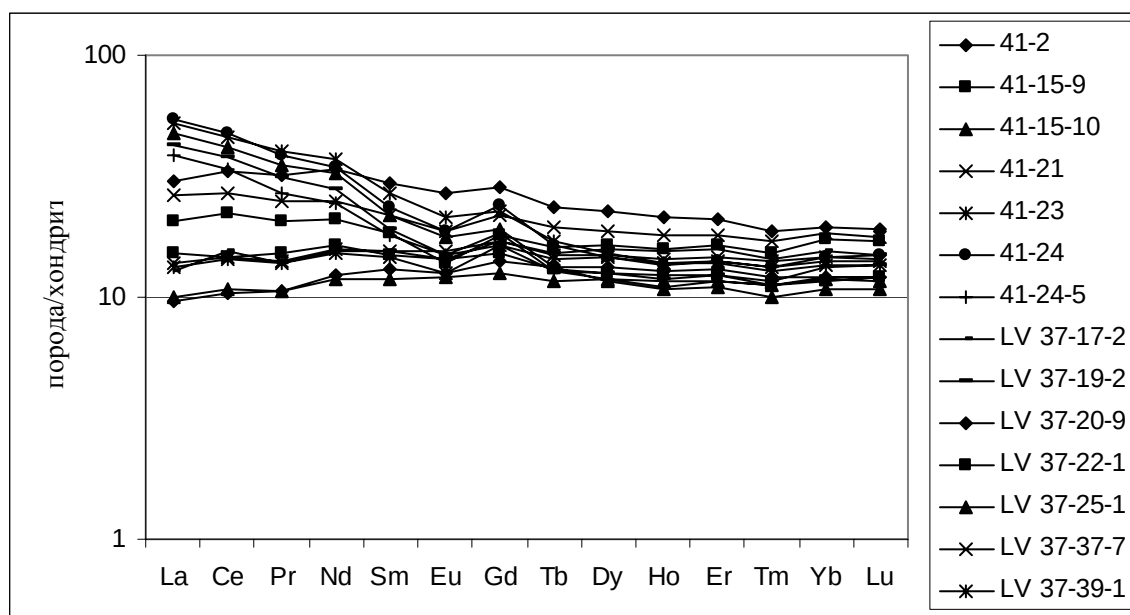


Рис. 5. Диаграмма распределения редкоземельных элементов для плиоцен-плейстоценовых вулканитов. Название пород представлено в табл. 1, 2.

Выше указанные геохимические особенности свидетельствуют о том, что плиоцен-плейстоценовые вулканиты хребта Витязь аналогичны толеитовым и известково-щелочным породам фронтальной и промежуточной зон Курильской островной дуги и субвулканическим породам Курильской котловины. В генезисе данных пород значительную роль играет континентальная кора, участвовавшая в генерации магматических расплавов. Это видно на диаграмме «Ba/La-La/Yb», демонстрирующей принадлежность большинства плиоцен-плейстоценовых вулканитов хребта Витязя к известково-щелочной компоненте (рис. 6). Все это позволяет отнести описываемые породы к производным магматических расплавов типа обогащенной сиалическим субстратом мантии ЕМII.

Таблица 2. Химические анализы вулканитов хребта Витязя

Образцы	41-13	37-14-4	41-23-14	41-18	37-17-13	37-37-6	41-18-14	41-15-9
Элементы	1	2	3	4	5	6	7	8
SiO ₂	52.52	55.92	63.06	73.16	74.22	58.32	69.42	51.18
TiO ₂	0.90	0.89	0.63	0.31	0.24	0.99	0.26	0.84
Al ₂ O ₃	18.62	16.17	14.66	14.33	13.65	16.43	14.09	20.48
Fe ₂ O ₃	6.23	4.84	4.54	1.55	1.17	4.96	4.18	4.54
FeO	2.80	4.27	0.86	1.08	0.91	3.64	0.10	5.60
MnO	0.09	0.15	0.24	0.02	0.034	0.17	0.32	0.12
MgO	4.92	4.72	2.57	1.52	0.36	3.29	1.71	4.95
CaO	4.10	4.09	1.95	2.52	2.11	6.47	2.26	6.80
Na ₂ O	4.50	3.57	4.50	4.33	3.17	3.14	4.00	2.67
K ₂ O	2.11	1.59	1.57	0.60	3.89	0.80	0.70	0.40
P ₂ O ₅	1.28	0.40	0.49	0.27	0.063	0.20	1.12	0.83
п.п.п.	1.85	3.00	5.07	0.42	0.55	1.73	1.49	1.30
Сумма	99.92	99.61	100.14	100.11	100.37	100.14	99.65	99.71
H ₂ O	1.80	0.45	1.96	0.18	0.05	0.76	0.56	0.96

Продолжение таблицы 2.

Образцы	37-25-1	37-17-2	37-20-9	37-39-1	41-23	41-24	37-37-7	37-22-1	37-19-2
Элементы	9	10	11	12	13	14	15	16	17
SiO ₂	52.20	52.90	54.18	54.42	54.42	58.17	59.26	60.94	61.90
TiO ₂	0.81	0.91	1.32	0.93	0.72	0.66	1.00	0.68	0.51
Al ₂ O ₃	17.40	17.19	16.87	18.45	17.82	18.12	17.19	16.68	17.40
Fe ₂ O ₃	3.01	2.62	3.18	5.35	3.51	3.81	3.74	2.92	2.53
FeO	6.30	7.00	7.42	3.15	6.68	3.52	4.69	4.27	3.08
MnO	0.20	0.18	0.23	0.19	0.097	0.11	0.14	0.16	0.19
MgO	4.61	5.25	3.83	4.18	5.41	3.49	2.14	3.29	2.85
CaO	9.20	9.24	6.93	8.32	6.55	4.35	7.00	6.86	6.34
Na ₂ O	3.57	2.63	3.57	3.00	2.33	4.00	3.33	2.75	3.00
K ₂ O	2.18	0.36	0.70	1.61	0.53	1.71	0.90	0.90	0.32
P ₂ O ₅	0.083	0.28	0.28	0.30	1.10	0.81	0.14	0.072	0.19
п.п.п.	0.69	1.09	1.18	0.35	1.03	1.17	0.65	0.57	1.34
Сумма	100.25	99.65	99.69	100.25	100.20	99.92	100.18	100.09	99.65
H ₂ O	0.05	0.05	0.05	0.05	0.13	0.21	0.14	0.05	0.05

Примечание. Комплексы: 1 – палеоценовый; 2, 3 – эоценовый; 4-5 – олигоценовый. 6-8 – миоценовый; 9-17 – плиоцен-плейстоценовый. 1 – туф базальта; 2 – туф андезибазальта; 3 – туф андезита; 4-5 – туфы риолитов; 6 – оливин-клинопироксен-плагиоклазовый андезит; 7. – клинопироксен-амфиболовый дацит; 8 – оливин-клинопироксен-плагиоклазовый базальт; 9 – оливин-клинопироксен-плагиоклазовый базальт; 10-14 – клинопироксен-плагиоклазовые андезибазальты; 15-17 – двупироксен-плагиоклазовые андезиты.

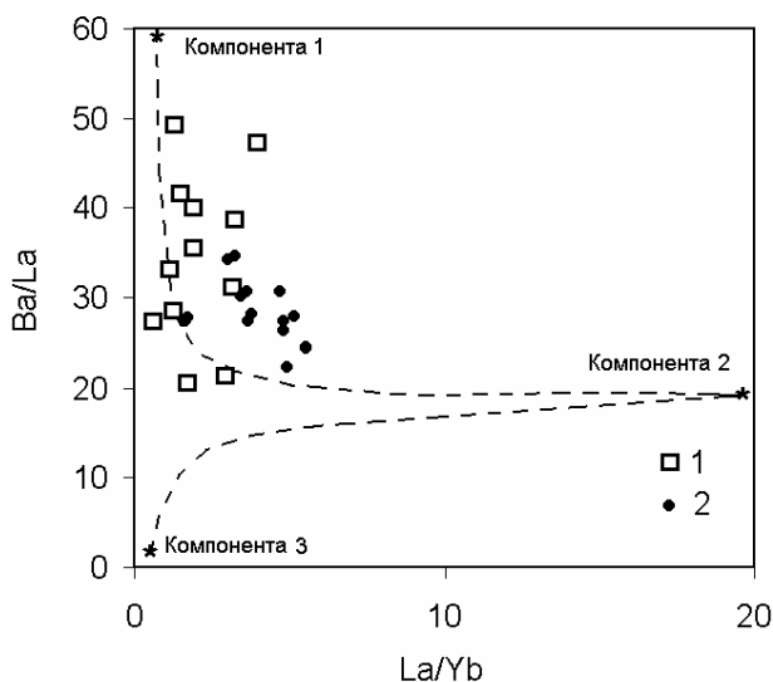


Рис. 6. Диаграмма Ba/La – La/Yb (Филатова, 2004) для вулканитов хребта Витязя и Курильской котловины: 1 – хребта Витязя, 2 – Курильской котловины.

Закключение

Курило-Камчатская островная дуга находится в зоне субдукции, в которой происходит погружение Тихоокеанской плиты под Азиатский континент и преобладающим типом напряжений здесь является сжатие. Строение нижней части фронтального склона дуги также несёт на себе отпечаток обстановки сжатия в виде надвигов в аккреционной призмы, ориентированных параллельно оси желоба.

Однако центральная часть «сейсмической брешы» представляет собой зону активного растяжения и деструкции. Юго-западной границей зоны растяжения служит рифтогенная система пролива Буссоль, ориентированная в северо-западном направлении. Деструктивные процессы в пределах зоны имели наложенный характер и включили в себя не только структурные деформации, но и активный магматизм преимущественно вулканического типа. Внутреннее строение зоны деструкции осложнено горсто-грабеновыми структурами, в том числе, и центральная часть Курильской дуги, разбитая поперечными разломами на серию небольших блоков.

Выделено и изучено несколько разновозрастных терригенных и вулканогенных комплексов, каждый из которых отражает этап развития подводного хребта Витязя и по времени совпадает с этапами развития в Охотском море и в других частях зоны перехода континент-океан, что указывает на единство тектонических процессов, формирующих эту зону.

Все изученные магматические породы обладают многими общими геохимическими особенностями и относятся к образованиям известково-щелочной серии активных континентальных окраин. Обнаружение молодых плиоцен-плейстоценовые вулканитов (4.3-1.6 млн. лет) в пределах хребта Витязь и их сходство с вулканическими породами тектонически активных Курильской островной дуги и Курильской котловины принципиально меняет ранее существовавшее представление об этом хребте как о невулканической структуре в общей системе Курило-Камчатская дуга – желоб.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ-ДВО РАН (проект № 06-05-96108), ДВО РАН (проекты № 06-III-A-07-258, № 06-I-PII7-075) и ФЦП «Мировой океан».

Список литературы

Васильев Б.И., Суворов А.А. Геологическое строение района подводной долины Буссоль (Курильская островная дуга), новые данные по геологии Дальневосточных морей. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1979. С. 58-68.

Кулинич Р.Г., Карп Б.Я., Баранов Б.В. и др. О структурно – геологической характеристике «сейсмической брешы» в центральной части Курильской островной дуги // Тихоокеанская геология. 2007. Т. 26. № 1. С. 5-19.

Лаверов Н.П., Лаппо С.С., Лобковский Л.И. и др. Центральнo-Курильская «брешь»: строение и сейсмический потенциал // ДАН. 2006. Т 408. № 6. С. 1-4.

Леликов Е.П., Цой И.Б., Емельянова Т.А. и др. Геологическое строение подводного хребта Витязя в районе «сейсмической брешы» (Тихоокеанский склон Курильской островной дуги) // Тихоокеанская геология. 2008а. Т. 27. № 2. С. 3-15.

Леликов Е.П., Емельянова Т.А., Баранов Б.В. Магматизм подводного хребта Витязя (тихоокеанский склон Курильской островной дуги) // Океанология. 2008б. Т. 48. № 2. С. 260-270.

Пискунов Б.Н. Геолого-петрологическая специфика вулканизма островных дуг. М.: Наука, 1987. 236 с.

Федотов С.А. О закономерностях распределения сильных землетрясений Камчатки, Курильских островов и северо-восточной Японии // Труды ИФЗ АН СССР. 1965. № 203 (36). С. 66-93.

Филатова Н.И. Закономерности динамики окраинноморского магматизма (Корейско-Японский регион) // Литосфера. 2004. № 3. С. 33-56.

Le Maitre R. W., Bateman P., Dudek A. et al. A classification of igneous rocks and glossary of terms. Blackwell, Oxford, 1989.

БИОЦЕНОЗЫ И ТАФОЦЕНОЗЫ ДИАТОМОВЫХ ВОДОРΟΣЛЕЙ КАРЫМСКОГО ОЗЕРА (КАМЧАТКА) В ПОСТКАТАСТРОФИЧЕСКИЙ ПЕРИОД (1996-2008 гг.)

Лупкина Е.Г.

*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский;
e-mail: volcano@kscnet.ru*

Результаты исследований альгологических остатков в вулканогенно-осадочных отложениях, прилегающих к кальдере Академии Наук, в которой продолжительное время находится акватория озера Карымское, а также в донных осадках самого озера, свидетельствует о том, что диатомовая флора с позднего плейстоцена и до 1996 г. являлась несомненной компонентой озерной экосистемы.

Альгофлора Карымского озера, как показатель его экосистемы, до подводного извержения 1996 г. в кальдере Академии Наук систематически не изучалась. Впервые научно-практический интерес к альгофлоре названного озера был проявлен в 70-х годах XX века продукционистами КамчатНИРО в связи с исследованием первых звеньев трофической цепи, связанным с интродуцированием популяции жилой формы *Oncorhynchus* (кокани) из Кроноцкого озера. По данным И.И. Куренкова (Куренков, 1985) в планктонном биоценозе доминировали представители *Bacillariophyta* - *Aulacoseira* (*Melosira*) *italica* и *Asterionella gracillima* (с суммарной численностью более 250 тыс. клеток/л). В качестве постоянно сопутствующих с оценкой обилия до «нередко», по общепринятой в России 6-балльной шкале, нами в осенних сборах И.И. Куренкова обнаружены *Stephanodiscus* cf. *invisitatus* (S. cf. *minutulus*), *Cyclotella tripartita*, *C. bodanica*.

Бентическая альгофлора озера, также как и термальных источников, эфемерных луж и водотоков его береговой зоны, до 1996 г. не исследовались.

Биогидрохимический посезонный мониторинг состояния озерной экосистемы был начат с 1996 г. Он связан с активизацией Карымского вулкана (с 2 января 1996 г.) и произошедшим синхронно ему впервые на территории России мощным подводным фреатомагматическим извержением в северном секторе Карымского озера (Федотов и др., 2002). Подводное извержение в очень короткое время привело к резкому нарушению равновесия термогидрохимического озерной системы и оказало катастрофическое воздействие на биоту. Прежде олиготрофное низкоминерализованное, низкотемпературное с субнейтральным pH озеро со средним диаметром 3.8 км, глубиной 50-60 м и объемом $4.6 \cdot 10^8 \text{ м}^3$ превратилось в водоем кислого раствора сульфатно-натриево-кальциевого состава, с pH = 3.1-3.4 по всей массе воды. Температура воды в озере поднялась на 20-24° С, и в первые месяцы после извержения в прибрежной зоне северного сектора фиксировалась температура, равная 28°С. В первые же месяцы 1996 г. погиб многовековой планктонный альгоценоз, в котором доминировала *Aulacosira italica* (= *A. subarctica*?), способствовавшая развитию достаточной плотности планктонных ракообразных, потребляемых молодью интродуцированной жилой формы *Oncorhynchus* (кокани).

По итогам десятилетнего мониторинга за состоянием биоты водной толщи озера установлено: 1 – в весенний и летне-осенние сезоны биомасса водорослей пелагиали и литорали не превышала 0.1 мг/л и была представлена единичными, редкими и физиологически ослабленными экземплярами бентических диатомовых, синезеленых и зеленых водорослей – временными вселенцами из ручьев и мелких водоемов береговой зоны и термальных источников южного сектора озера; 2 – в июле 1997 г. в приповерхностных слоях прибрежной зоны северного, восточного, северо-восточного и южных секторов озера происходило массовое развитие жгутиковых форм *Chlorophyta* и *Euglenophyta*; 3 – донные сообщества водорослей, включая перифитон, в течение десяти

лет развиваются локально и слабо, систематический состав их находится в зависимости от латерального стока и состава ценозов термальных источников береговой зоны, а также, под отрицательным воздействием водородного показателя водной массы озера; 4 – состояние альгологической составляющей биоты озера продолжает находиться в несомненной зависимости от продолжающегося поступления эндогенного флюида.

В верхней части озерной литорали на глубине 3-12 (20) метров с (1999?) 2000 г. сначала с визуально заметной численностью, а затем с массовой по настоящее время – 2008 г. развиваются нитчатые зеленые (Chlorophyta) – *Microspora stagnorum* и сопутствующий ей локально *Rhizoclonium*. В подвижных водах их численность достигает 3 кг/м² (сырой массы). В этой перифитонной ассоциации численность представителей других отделов водорослей очень низкая.

О составе автохтонного планктонного и бентического альгоценозов предкатастрофического периода некоторое представление дают результаты исследований тафоценозов диатомей из поверхностных осадков, поднятых из прицентральной глубоководной части озера (60 м). В верхнем слое неконсолидированных илов (мощн. 0.5-1.0 см) обнаружены часто с заметной численностью (до «нередко») изолированные створки и фрагменты видов, популяции которых не восстановились за десятилетний период мониторинга в том числе из родов: *Aulacoseira*, *Cyclotella*, *Stephanodiscus*, *Tabellaria*, *Diploneis*, *Epithemia*, *Rhopalodia*, имевших широкое распространение в палеоводоемах прилегающих территорий в позднем плейстоцене- голоцене.

Исследование валовых сетяных и отстойных проб свидетельствует о том, что автохтонный диатомовый планктонный комплекс на протяжении десятилетнего периода не восстановился и его биотоп кратковременно занимали жгутиковые формы Chlorophyta, Euglenophyta и позднее (2000-2004 гг.) *Choricystis chodatii*.

Максимальная численность последнего достигала в валовых отстойных пробах (отбор 60-0 м) до 61 млн клеток/л, массовое развитие его отмечалось также локально в субнейстоне прибрежной зоны южного сектора озера в зоне смешения озерной воды с субщелочными водами термальных источников Академии Наук. Сопутствующим субдоминантом являлась *Nitzschia sigma*.

Восстановление депопуляции планктонного структурообразующего комплекса диатомовых водорослей наблюдается в зимний сезон с 2006 г. При этом численность *Aulacoseira italica* l.s. (= *A. subarctica*?) на порядок меньше таковой чем в предкатастрофический период; *Asterionella* не обнаружена. Примечательной особенностью в целом планктонной ассоциации в центре подводного кратера Токарева в апреле 2008 г. является присутствие в ограниченном интервале водного столба (на глуб. 50 м) массового скопления представителя Cyanophyta – *Gomphosphaeria* cf. *lacustris* и единичных колоний *Aphanothece* sp. (*A. cf. elabens* (Breb.) Elenk.) на минеральных частицах (чермигита?), ранее в акватории озера и в его прибрежной зоне не наблюдавшихся.

Наибольшее видовое разнообразие диатомовых водорослей по нашим наблюдениям присуще бентическим биотопам (Лупикина, 2005; Лупикина, Жаковщикова 2003). Среди бентических ассоциаций водорослей по 10-летним наблюдениям выделены группировки эпифитона, эпилитона, эпипелона в зоне литорали. Наименьшим распространением характеризуется эпифитонная и приученная к «макрофитам» - водному мху, развивающемуся круглогодично по северному обрамлению п-ва Новогодний в вододинамичной среде, освобождающей биообъекты от выпавшего на них вулканического пепла. В северном секторе озера этот локальный альгоценоз в 1999-2000 гг. представлен небольшим числом видов в физиологическом нормальном состоянии диатомей: *Eunotia exigua*, *Pinnularia viridis*, *P. gentilis*, *P. microstauron*, *P. subcapitata*, *Navicula cryptocephala*.

В последующие годы видовое разнообразие и численность группировки значительно возрасла на фоне расширения скопления *Microspora stagnorum* на участках с

pH 5.0-6.0 и t° от 6° до 20°C , реже 26°C . Группировки диатомовых водорослей эпилитона приурочены к текучим водам и прибойной каменистой литорали. По доминирующим видам выделяются три типа обрастаний: «тип *Achnanthes*» (налет на голых камнях), *A. minutissima*, *A. lanceolata*, *A. linearis*, «тип *Melosira*» с одним доминирующим видом – *M. varians* «тип *Synedra*» (доминант – *S. ulna*, большей частью природная монокультура), «тип *Nitzschia*» (*N. sp. sp.*).

Группировки диатомовых водорослей эпипелона формируются локально на глубинах верхней и средней литорали (до 25 м) в зонах мало подверженных волновому перемешиванию и взмучиванию пелитовой фракции пеплов ветровым перемешиванием и скрытыми разгрузками. Названные факторы приводят к формированию узколокальных биотопов и биоценозов, а также к колебаниям количественных оценок обилия видов. Батиметрическими исследованиями установлен террасовидный профиль озерной ванны, особенно ее литоральной зоны. Просадочные участки донных осадков способствуют деформации поверхностных слоев и формированию танатоценозов смешанного видового состава, имевших место альгосукцессий. В случае преобладающей неконсолидированной пелитовой фракции осадков при формировании танатоценозов в просадочных участках в ассоциации живущих таксонов попадают в переотложенном виде таксоны предкатастрофического периода.

В целом вулканический (пеплопады) и гидрологические факторы (pH, t°), терригенный и эоловый снос посткатастрофического периода способствуют искажению представлений о площадном развитии литоральной зоны Карымского озера (в сторону увеличения) и значительно нивелируют состав существующих локальных альгоценозов при формировании тафоценозов. Наиболее локально распространенные массовые фитоценозы в литорали и планктоне Карымского озера в 2000-2007 гг. представлены на рис. 1-6.



Рис. 1. *Microspora stagnorum*.

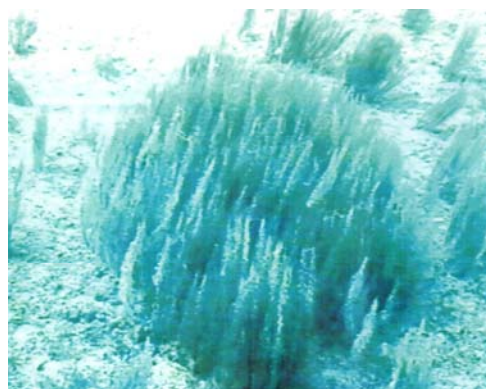


Рис. 2. *Pholia filum* + *Microspora stagnorum*

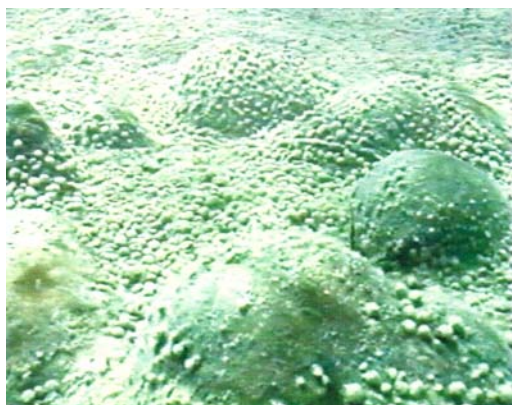


Рис. 3. Колонии *Phormidium sp.sp.*

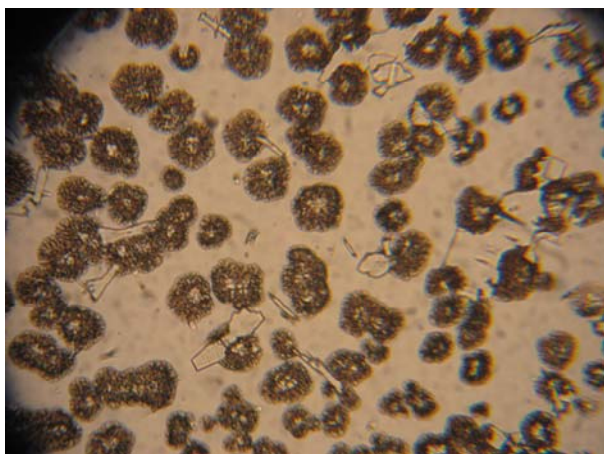


Рис. 4. *Charicystis chodati* (в планктоне).

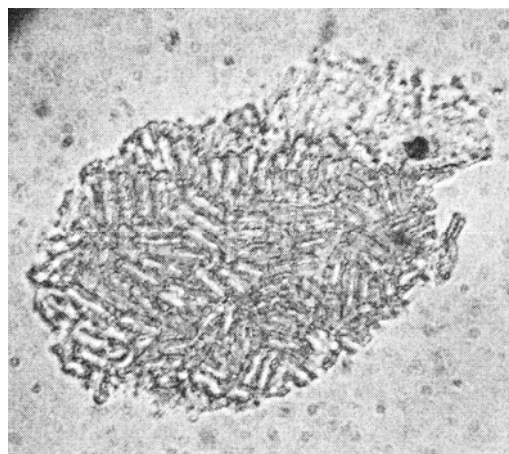


Рис. 5. *Aphanothece cf. elabens* (в планктоне).



Рис. 6. *Gomphosphaeria cf. lacustris* (в планктоне).

Список литературы

Куренко И.И. Результаты интродукции кокани в Карымское озеро // Генетические и экологические проблемы разведения лососевых рыб // Тр. Гос. НИОРХ. Л.: Промрыбвод, 1985. Вып. 228. С. 98-104.

Лупкина Е.Г. Восстановление биоты в посткатастрофический период извержения вулканов (сукцессии альгоценозов озера в Карымское в 1996-2003 гг. // Вулканология и сейсмология. 2005. № 1. С. 37-43.

Лупкина Е.Г., Жаковицкова Т.К. Диатомовые водоросли – растения-первопоселенцы оз. Карымское посткатастрофического периода // Материалы IV научной конференции «Сохранение биоразнообразия Камчатки и прилегающих морей». Петропавловск-Камчатский, 18-19 ноября 2003 г. Петропавловск-Камчатский, 2003. С. 65-67.

Федотов С.А., Озеров А.Ю., Магуськин М.А. и др. Извержение Карымского вулкана в 1998-2000 гг., связанные с ним сейсмические, геодинамические и поствулканические процессы, их воздействие на окружающую среду // Катастрофические процессы и их влияние на природную среду. Т. 1. Вулканизм. М.: Региональная общественная организация ученых по проблемам прикладной геофизики, 2002. С. 117-160.

РЕСУРСНАЯ БАЗА САНАТОРНО-КУРОРТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА В КАМЧАТСКОМ КРАЕ

Манухин Ю.Ф.¹, Петров М.А.²

¹*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский; e-mail: manuhinu@mail.ru*

²*ООО «Аква», г. Елизово; e-mail: akva@kamchatka.ru*

До распада СССР в его пределах было достаточное количество освоенных курортных районов, лечебных территорий и специализированных учреждений, которые обеспечивали потребности населения страны в санаторно-курортном лечении. С отделением кавказских республик (Грузии, Армении), Украины с крымскими и закарпатскими здравницами, Среднеазиатских республик, Прибалтики возможности для развития этой социальной сферы применительно к России значительно сократились. В то же время, судя по потокам российских граждан на зарубежные европейские и азиатские курорты, можно прогнозировать растущую потребность в лечебно-рекреационных услугах. Оставшиеся в России знаменитые южные курортные районы в сочетании с местными возможностями позволяют на какое-то время компенсировать утраченные ресурсы, но они не могут решить проблему в отечестве в целом даже на ближайшую перспективу. Поэтому есть насущная необходимость изучения и освоения новых районов с приемлемыми климатическими условиями, богатыми гидроминеральными ресурсами (минеральными водами и лечебными грязями), разнообразными рекреационными возможностями, с минимально развитой инфраструктурой и доступностью ресурсов. На карте России, по нашему мнению, можно уверенно обозначить только один обширный район, обладающий всеми перечисленными, а также многими другими, ресурсами для санаторно-курортного строительства национального уровня. Это Камчатский край. Попытаемся обосновать этот тезис.

1. Климато-рекреационный и курортологический потенциалы

Для санаторно-курортного лечения климатический фактор является неотъемлемым компонентом. Камчатка отличается крайней изменчивостью погодных условий как по площади, так и по вертикали. Это создает пестрый микроклиматический фон. Нас прежде всего интересуют территории межгорных долин и котловин, защищенные горными хребтами от влияния Тихого океана и Охотского моря. Наиболее привлекательны в этом отношении долины рек северо-восточной ориентировки (реки Камчатка, Паратунка и др.) с элементами континентального климата, «к жилью человеческого пригодные». Речные долины субширотного простирания гораздо менее защищены, и климат здесь, как и на побережье, типично морской или близок к нему. Но все же по существующим биоклиматическим критериям защищенные районы Камчатки характеризуются довольно общими климато-рекреационными (КРП) и курортологическими (ККП) потенциалами и оцениваются как относительно благоприятные с баллами соответственно 50 и 17. Территория же Западной Камчатки, материкового Севера и собственно горных районов являются неблагоприятными с точки зрения биоклимата. При научном подходе потенциал Камчатского края в целом может иметь достаточно высокую оценку, так как он включает в себя чистоту и прозрачность воздуха, разнообразие климата, длительность снежного покрова, наличие многочисленных бассейнов поверхностных вод (морская акватория, речная сеть, озера).

2. Гидроминеральные бальнеологические ресурсы

2.1. Минеральные холодные и термоминеральные подземные воды бальнеологического назначения

В 1991 году ПГО «Камчатгеология» завершила специализированную работу по оценке перспектив Камчатской области на минеральные воды (ответственный исполнитель В.А. Петров). Это был прорыв в изученности минеральных вод Камчатки, поскольку впервые была составлена карта минеральных вод, на которой нашли структурную привязку 274 проявления и месторождения минеральных вод, в том числе 160 термоминеральных объектов. Но не только. На основе широко известной классификации минеральных вод В.В. Иванова и Г.А. Невраева (1964) авторами была разработана новая классификация, существенно дополнившая прежнюю, но что особенно важно, по 50-ти группам минеральных источников были оформлены предварительные бальнеологические заключения Института микроклиматологии и курортологии АМН СССР, а также разработана концепция освоения ресурсов минеральных вод. Изданная в 1999 году «Карта полезных ископаемых Камчатской области» масштаба 1:500 000 полностью аккумулировала полученные результаты как названной выше работы, так и последующих работ по изучению минеральных вод, а также технико-экономических соображений в связи с их поисками, разведкой и освоением, послужившие основой для подготовки атласа карт термоминеральных и холодных источников Камчатской области перспективных для хозяйственного освоения (О.В. Кириченко, 2005). Если же учесть и то, что в Камчатском крае имеется собственный опыт организации санаторно-курортного дела и рекреационного обслуживания граждан России и зарубежья, то становится ясным, что информационный пакет как основа социальных и коммерческих предложений по санаторно-курортному строительству на Камчатке имеется.

К сказанному нужно добавить, что информационная база по минеральным водам время от времени пополняется. Так, в 2006 году Институт вулканологии и сейсмологии выпустил «Карту термоминеральных источников и геотермальных ресурсов Камчатки» масштаба 1:1 500 000 (отв. редакторы А.В. Кирюхин, Ю.Ф. Манухин). Она дополняет реестр минеральных вод за счет открытых Г.Ф. Пилипенко и Е.А. Вакиным источников, неучтенных на «Карте полезных ископаемых». Но их бальнеологическую ценность предстоит выяснять.

2.1.1. Классификация и бальнеологическая характеристика минеральных вод

Согласно вышеупомянутым генетическим классификациям минеральных вод В.В. Иванова, Г.А. Невраева и М.А. Петрова в Камчатском крае выделяются следующие основные бальнеологические группы минеральных вод: *группа А* – воды без «специфических» компонентов и свойств; *группа Б* – углекислые воды; *группа В* – воды сульфидные; *группа Г* – воды железистые, мышьяковистые (мышьяковые) и с высоким содержанием марганца, алюминия, меди и др.; *группа Д* – воды борные, йодные и с высоким содержанием органических веществ; *группа Е* – радоновые (условно) – радиоактивные воды; *группа Ж* – кремнистые термальные воды.

По содержанию растворенных газов все выше перечисленные группы вод в классификации подразделены на три подгруппы: а) азотные, в которых газ имеет в основном атмосферное происхождение; б) метановые, главным образом, биохимического происхождения и в) углекислые, с газом, как правило, глубинного (термометаморфического, магматического, вулканического) происхождения. По ионному составу проявления минеральных вод подразделяются на классы (анионы) и подклассы (катионы).

Приведем краткую бальнеологическую характеристику названным группам.

А. Воды без специфических компонентов и свойств. Группа имеет 89 проявлений маломинерализованных вод и два – вод высокой минерализации. По анионному составу относятся ко всем классам. Встречаются аналоги известных типов: *краинского типа* (сульфатные кальциевые воды) – источники вулкана Безымянного, мыса Перевального (Озерновские и Начикинские), Подувальные, Июльские, Верхне-Сырыцынские,

Сига́йэктапские, Ава́лконские, Ве́ршинские, Ска́зка; *казанского типа* (хлоридно-сульфатные натриевые) – Нижне-Балхачские источники; *феодосийского типа* (хлоридно-сульфатные воды) – Африканские источники и *миргородского типа* (хлоридно-натриевые воды) – Новые, Блудные источники.

Воды лечебно-столовые могут быть использованы при лечении гастритов, неосложненной язвенной болезни желудка и двенадцатиперстной кишки, болезней оперированного желудка, хронических колитов и энтероколитов, хронических заболеваний печени и желчевыводящих путей, болезней обмена веществ, хронических панкреатитов. По четырем проявлениям имеются предварительные бальнеозаключения.

Из этой группы наиболее перспективны и доступны воды следующих источников: Африканских, Средне-Кимитинских, Быстринских, Турпанского, Вилуйских, Сказка. Особой популярностью пользуются воды Быстринских источников, которые приближаются к кремнистым термам.

Б. Воды углекислые. Эти воды - одно из главных богатств Камчатки. Насчитывается 55 источников, в том числе 14 термальных. Наиболее широко распространены воды гидрокарбонатного класса, мало- и среднеминерализованные, однако встречаются воды с высокой минерализацией – до 32.5 г/дм³.

Применяются воды как столовые, лечебно-столовые, лечебные для внутреннего применения и для углекислых ванн. В первом случае могут быть использованы воды практически всех источников этой группы, но при этом учитываются содержания мышьяка и бора, и если их концентрация превышает нормы ГОСТа 13273-88, то воды относятся к лечебным. Только воды 12-ти источников отнесены к разряду лечебно-столовых: Южно-Карагинских, 3714, Ичинских, Тихинских, Оганчинских, Дремучих, Богдановичских, Облуковинских, Богдановских, Кашканских, Корякских нарзанов, Ажицких. Остальные являются лечебными.

Как правило, показания к применению касаются желудочно-кишечных болезней и болезней других внутренних органов (см. группу А). Показания к назначению углекислых ванн – болезни сердечно-сосудистой и эндокринной систем и другие. Наиболее пригодны для ванн воды термальных источников: Тымлатских, Южно-Карагинских, Кангалатваямских, Кунхилокских, Право-Быстринских, Нижне-Щапинских (Кипелых), Узонских, Карымских, Горячереченских, Желтореченских, Медвежьих, Сивучинских. Предварительные бальнеозаключения имеются на 18 источников.

В. Воды сульфидные. Зарегистрировано 7 проявлений. Наибольший практический интерес представляют воды Озерновских, Узонских, Верхне-Семячских гидротерм и Кеткинского месторождения термальных вод.

Основные показания к применению этих вод: заболевания сердечно-сосудистой системы, опорно-двигательного аппарата, нервной системы, кишечные и гинекологические болезни.

Г. Воды железистые, мышьяковистые и с высоким содержанием марганца, меди, алюминия и других компонентов. Зарегистрировано 65 проявлений, в том числе 46 термальных, с предварительными заключениями по 7 объектам.

Минеральные воды источников Верхне-Семячских, Таловских, содержащие железо и мышьяк, эффективны при лечении железодефицитных анемий. Для их лечения могут быть также использованы такие проявления, как Алнейские, Уксичанские, Изотовские, Красные, Харчинские, Верхне-Балхачские, Оганчинские, Заповедные, Верхне-Беловские, Верхне-Чажминские, Мальские, Лебяжьи, Узонские, Мало-Семячские, Верхне-Мутновские, Кислый Ключ.

Углекислые мышьяковистые воды Налычевских, Горячереченских, Беловских, Желтореченских источников могут применяться при малокровии, истощении, неврастении, миастении. Кроме того, они могут назначаться при болезнях желудочно-кишечного тракта, мочеполовых органов, системы кровообращения, нервной системы, а также в качестве общеукрепляющего средства.

Д. Воды бромные, йодные и с высоким содержанием органического вещества.

Встречаются в глубоких водоносных горизонтах артезианских бассейнов. Они вскрыты скважинами при поисково-разведочных работах на нефть и газ в бассейнах западной и восточной Камчатки и на Нижне-Озерновском месторождении термальных вод.

Показания к применению: болезни сердечно-сосудистой системы, мочевыводящих путей, гинекологические, кожные, желудочно-кишечные, нарушения обмена веществ. Высокое содержание органики обнаружено на Богачевской и Двухлагерной площадях (Кроноцкий полуостров). Бальнеологическое действие их изучено слабо. Ближайший из известных типов маломинерализованных вод – «Нафтуса».

Е. Воды радоновые. Используются для лечения сердечно-сосудистых болезней, периферической нервной системы, опорно-двигательного аппарата, экзем. На Камчатке значительные содержания радона обнаружены в парогазовой фазе высокотемпературных (кипящих) терм: Узонских, Верхне-Киреунских, Дачных, Паужетских, Нижне-Кошелевских. Повышенное содержание радона имеет место в спонтанных газах термальных источников на севере Камчатки: Говенских, Паланских, Тымлатских, Русаковских. В этом случае лечебный фактор проявляется в проточных бассейнах.

Ж. Кремнистые воды. Это самая распространенная группа термальных вод (85 проявлений). Терапевтический эффект их достаточно хорошо изучен. Для вод Верхне-Кимитинских, Паланских, Русаковских, Дранкинских, Вилючинских источников, Начикинского, Эссовского, Анавгайского, Паратунского, Верхне-Пратунского, Кеткинских месторождений имеются предварительные или окончательные бальнеологические заключения.

Спектр применения: болезни суставов, костей, мышц, нервной системы, сосудов (флебиты, тромбозы), гинекологические заболевания, хронические интоксикации.

В заключение раздела отметим, что расширить диапазон лечения и усилить терапевтический эффект можно применением термофильных водорослей (альгофлоры), обладающих высокими концентрациями биологически активных элементов.

2.1.2. Прогнозные ресурсы, эксплуатационные запасы холодных минеральных и термоминеральных вод и их использование

Ресурсная база в части минеральных вод состоит из эксплуатационных запасов и прогнозных ресурсов. Эксплуатационные запасы, подсчитанные на расчетный срок (25-50 лет) или на неограниченный срок эксплуатации по результатам разведки или опытно-промышленной эксплуатации, прошедшие государственную экспертизу и утвержденные Государственной комиссией по запасам (ГКЗ) либо Территориальной комиссией (ТКЗ), имеют самую высокую достоверность и являются основанием для проектирования теплоэнергетических или минеральных водозаборов.

Прогнозные ресурсы согласно нашей методике подразделяются на потенциальные, минимальные и эксплуатационные. Прогнозные эксплуатационные ресурсы, оцененные нами в основном методами аналогии имеют следующие пообъектные предельные параметры: холодные минеральные воды – 30-300 м³/сут, термоминеральные (теплоэнергетические воды с прогнозной температурой на глубине до 1500 м от 60⁰С и более) – 300 -15000 м³/сут.

Ниже приводится таблица, составленная на основе балансов запасов теплоэнергетических и минеральных холодных вод с ранжированием месторождений по бальнеологическим группам и с указанием недропользователя. Это та ресурсная база, на которой либо уже построены и функционируют санаторно-курортные и рекреационные учреждения, либо остаются попутные или резервные запасы, которые можно использовать, в том числе и нераспределенные.

Таблица. Эксплуатационные запасы термальных и холодных минеральных вод по состоянию на 2008 год

№ п/п	Бальнеологическая группа	Название месторождения (участка, проявления); категория сложности; срок эксплуатации	Температура воды, °С	Дата утверждения запасов и № протокола ГКЗ, ТКЗ, (НТС)	Утвержденные запасы, тыс.м³/сут (тыс.т/сут)					Организация недропользователь	Целевое назначение	Примечание
					А	В	С ₁	С ₂ /Р	Всего			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Быстринский район												
1	Ж	Анавайское; III; неограниченный	64-78	ТКЗ КПО «Камчатгеология»; №81 от 26.03.1990г.	-	2.72	0.65	0.6	3.37	ГУП «Камчатскбургеотермия»	Теплоснабжение, попутно бальнеология	Осуществляется попутное использование термальных вод в рекреационных целях
		Участок 47-й км	39-52									
2	Ж	Эссовское; III; неограниченный	72-77	ГКЗ № 9150 от 24.12.1982г.	4.7	8.2	7.8	-	20.7	ГУП «Камчатскбургеотермия»	Теплоснабжение	То же
Мильковский район												
3	Б Ж	Пущинское; III; -	60-63	НТС ГП «Бургазгеотермия», 1991	-	-	2.851	-	2.851	Нераспределенный фонд	Бальнеология, теплоснабжение,	Осуществляется сезонная эксплуатация
Елизовский район												
4	Г	Налычевское III; неограниченный в т.ч.:				1.114	3.305	9.4		Нераспределенный фонд	Бальнеология, теплоснабжение	Используется сезонно для теплоснабжения и рекреации
		Налычевские	64-73	ТКЗ №110 от 20.10.1995г.		0.207	0.363					
		Горячеченские	28-43			0.907	2.868					
	Г	Желтореченские	33-38				0.074				Бальнеология	
		Таловские	23-33				0.077	0.490				
		Шайбные	13-18					0.011				
	Б	Краеведческие	40-50				0.006	0.066				
		Чистинские	6-10				0.008					
		Корякские нарзаны	12-14					0.449				
		Изотовские	50-51					0.011				
		Шумные	10-12					0.005				
		Аагские холодные	5-8					0.030				
		Аагские термальные	39-40					0.006				
		Право-Шумнинские	17-19					0.023				

Продолжение таблицы

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
5	Б	Малкинское (хо-лодные углекислые минеральные воды); III; 50	7.5-12	ТКЗ № 63 от 30.12.1986г.	-	0.3311	0.0043	-	Вода: 0.3356	ООО «Аквариус»	Розлив	Промышленный розлив природных лечебно-столовых вод
6	Ж	Малкинское (термальные воды); III; 25	35-83 (источн.) 74-88 (скваж.)	ТКЗ № 152 от 28.12.2001г.	-	0.00165	0.00005	-	Газ: 0.0017	ООО «Аквариус»	Теплоснабже- ние бальнеология	Осуществляется теп- лоснабжение промыш- ленных объектов, рекреационной инфраструктуры, для рыбозабоев
7	Б	Кеткинское; III; 25, в т.ч.: I гидрогеологиче-ский этаж	47 (ср. взв.)	ТКЗ № 104 от 23.12.2001г.	-	-	1.729	1.78	3.509	УМП ОПХ «Заречное»	Теплоснабжение бальнеология	Осуществляется теп- лоснабжение объекта и бальнеолечение, наружное (бальнео- логическое) использование вод
	Ж	II гидрогеологичес-кий этаж	66 (ср. взв.)		-	-	0.095	0.441	0.536			
8	Ж	Начикинское; III; неограниченный	35-80	ГКЗ № 6011 от 15.07.1970г.	0.605	0.432	0.138	-	1.175	С 04.01.2002г. в нераспределенн ом фонде	Бальнеолечение и теплоснабжение	Используется для теплоснабжения объектов соц. назначения
9	Ж	Южнобережное (участок Ближний)	72	ЦКЗ РАО Газпром; № от 23-26.03.1992				0.9	<u>0.9</u> -	ГУП «Камчатск- бургеотермия»	Теплоснабже- ние	Не используется
10	Ж	Паратунское; III; 27, в том числе: Уч. Северный	40-95	ГКЗ № 874 от 26.09.2003г.	11.4	0.5	4.4	8.5	24.8	ГУП «Камчатск- бургеотермия»	Теплоснабжение бальнеология	Используется для теплоснабжения населенных пунктов, баз отдыха
		Уч. Микижа			3.5	-	-	-	3.5	Б/о «Голубая лагуна», б/о «Жемчужина Камчатки», (б/о «Восход»)		
		Уч. Нижний			4	-	-	-	4	ГУП «Камчатск- бургеотермия»		
		Уч. Светлячок			-	0.5	-	-	0.5	ГУ ЦБ РФ пансионат «Светлячок»		
		Уч. Средний			3.9	-	-	-	3.9	ГУП «Камчатск- бургеотермия»		

Продолжение таблицы

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	Ж	Уч. Промежуточ- ный			-	-	3.5	-	3.5	УМПКХ «Термальное» Управления ЖКХ администрации Камчатской обл.	Теплоснабже- ние, бальнеология	Используется для теплоснабжения населенных пунктов, баз отдыха, рыборазведения
		Уч. ПЭПЛРЗ			-	-	0.4	-	0.4	ФГУ «Дирекция ЛРЗ» ЭЛРЗ»		
11	Ж	Верхнепаратунское; III; неограниченный	76,5 (ср. взв)	ГКЗ № 8738 от 27.03.1981г.	-	21.6	1.7	-	23.3	ГУП «Камчатск- бургеотермия»	Теплоснабже- ние	Используется весьма ограниченно
12	Ж	Мутновское; III; 30, в том числе:	147-320	ГКЗ СССР №10331 от 1987г. ЦКЗ Мингео СССР №2 от 20.12.1990г.			(13.478)	<u>(7.517)</u> (36.029)	(57.024)	ОАО «Геотерм»	Теплоэнерге- тика	Обеспечение теплоносителем двух ГеоЭС
		Уч. Дачный				(10.454)	<u>(6.135)</u> (15.811)	(32.4) (32.399)				
		Уч. Верхнемутновский				(3.024)	<u>(1.382)</u> (5.529)	(9.936)				
		Уч. Вулканный				<u>(-)</u> (14.688)	(14.688)					
Усть-Большерецкий район												
13	Ж	Больше-Банное	150-170	ГКЗ № 5657 от 11.04.1969г.	-	(13.5)	-	-	(13.5)	Нераспределен- ный фонд недр	Теплоснабже- ние, выработка электроэнергии	Эксплуатируется 1 скважина для целей теплоснабжения тур. приютов
14	Ж	Нижне-Озерновское	82-89	ЦКЗ РАО Газпром от 23.06.1992г.	-	-	-	<u>0.7</u> 17.3	0.7	ГУП «Камчатскбур- геотермия»	Бальнеология	Не используется
15	Ж	Нижне- Кошелевское	97-240	НТС ПГО «Камчатгеология»; № 105 от 28.06.1984г.	-	-	(5.184)	<u>(16.416)</u> -	(21.6)	С 8.04.2002г. в нераспределен- ном фонде недр	Теплоснабже- ние, выработка электроэнергии	Месторождение в эксплуатацию не вводилось
16	Ж	Паужетское; III; 27	228 мах (в скваж.)	ГКЗ № 1606 от 28.03.2008г.	12.3	3.8	10.8	9.8	36.7	ГУП «Камчатскбур- геотермия»	Производство электроэнергии теплоснабжен.	Обеспечивает теплоносителей ГеоТЭС
17	Ж	Апачинское	56-71	ТКЗ №157 от 21.08.2002г.	-	-	2.316	-	2.316	АКК Агропромбанк Камчатскагро- промбанк	Теплоснабже- ние	Осуществляется теплоснабжение и рекреация

Ресурсы минеральных и термоминеральных вод для целей бальнеологии и рекреации практически неограниченны. Большой их расход требуется лишь при необходимости обеспечить стационарные объекты геотермальным теплоносителем (речь идет о тысячах м³/сут). При применении ванн суточная потребность на одну тысячу человек составляет всего 200 м³. Это крайне незначительная доля в ресурсах минеральных вод края. Собственно минеральные воды можно использовать с применением каптажа проявлений. Теплоэнергетические потребности лечебно-оздоровительных объектов, обеспечиваемые геотермальным теплоносителем потребует в большинстве случаев скважинного каптажа и не дешевых геологоразведочных работ. При разработке геотермальных месторождений термоминеральные воды для бальнеологических целей используются попутно.

Современное бальнеологическое и рекреационное использование эксплуатационных ресурсов и запасов термоминеральных вод частично обозначено в таблице 1. Кроме того, бассейны для купания и примитивные ванны, круглогодично либо сезонно посещаемые населением, обустроены на участках разгрузки термоминеральных вод Эссовского, Апачинского, Малкинского месторождений, а также на Киреунских, Нижне-Киреунских, Нижне- и Верхне-Щапинских, Пущинских, Налычевских, Тимановских, Верхне-Паратунских, Вилучинских, Ходуткинских, Африканских, Паланских, Русаковских и некоторых других.

Современное бальнеологическое и рекреационное использование эксплуатационных запасов и ресурсов термоминеральных вод составляет 3-5 до 20 % от эксплуатационных возможностей разрабатываемых месторождений преимущественно кремнистых вод (группа Ж). Группы других вод используются в более ограниченных масштабах. Что касается минеральных вод лечебно-столового ряда, то единственными предприятиями, добывающими и реализующими углекислые воды Малкинского месторождения, соответственно являются ООО «Аквариус» и ЗАО «Малкинское»; при этом объем реализации не превышает 100 м³/сут, что составляет менее одной трети запасов Малкинского месторождения.

2.2. Лечебные грязи

Это практически неизученный на Камчатке бальнеологический ресурс. Единственное месторождение грязей, используемых санаторием «Паратунка» в лечебных целях, приурочено к пойменному озеру Утиное в долине р. Паратунки. В то же время, помимо грязей на заболоченных поймах, ресурсы которых, по-видимому, велики, известны проявления грязей в прибрежных морских лагунах, которые по аналогии с черноморскими илами должны обладать целебными свойствами. Совершенно не изучены глины гидротермально-измененных пород, а также бывшие грязевые котлы на остывших гидротермальных полях, но судя по набору микроэлементов, они тоже могут пополнить виды бальнеологических ресурсов.

В свое время специализированная работа по оценке возможности использования проявлений грязи для названных целей была заявлена по линии Мингео, но по ряду объективных обстоятельств так и не была осуществлена. В случае положительных результатов это исследование значительно увеличило бы бальнеологический ресурсный потенциал на новом направлении и, возможно, позволило бы обосновать новое производство по добыче и брикетированию лечебных грязей.

3. Концепция освоения санаторно-курортных ресурсов

Изложенные выше материалы по бальнео-рекреационным ресурсам Камчатского края, которые уже сегодня можно оценить как национальное достояние, определяют саму возможность санаторно-курортного строительства в общероссийских целях. Проблема состоит лишь в социальной необходимости и экономических возможностях их освоения

для бальнеологии и рекреации в условиях неразвитых в крае инфраструктуры, транспортных и теплоэнергетических сетей.

Нельзя сказать, что первые шаги в этом направлении не были предприняты. С 1946 года на Паратунских термах и грязях работает первый на Камчатке санаторий Министерства обороны. Он явился ядром, вокруг которого сформировалась целая сеть баз отдыха и профилакториев с автономным геотермальным теплоснабжением. С 1950 года по начало девяностых годов на базе разведанного Начикинского месторождения функционировал профсоюзный санаторий «Начики». Местная водолечебница имела место на Озерновских термальных источниках, а ныне популярностью пользуются водолечебница «Озерки» на Кеткинском месторождении, «47 км» на Быстринском месторождении и профилакторий на Малкинском месторождении. Это стационарная основа. Другие посещаемые с целью отдыха места, чаще сезонно, названы выше.

Исходя из реальной ситуации, размещения в крае проявлений и месторождений минеральных и термоминеральных вод, их параметров и свойств М.А. Петровым была предложена концепция, определяющая основные требования к будущим программам и проектам освоения санаторно-курортных и рекреационных ресурсов Камчатки. В кратком изложении ставились следующие задачи:

- произвести доизучение перспективных объектов с целью улучшения и расширения лечебно-профилактической базы;
- выбор участков территории под проекты с учетом разнообразия ландшафтно-климатических условий, способствующих быстрой адаптации жителей из других регионов России и других стран;
- поэтапный ввод санаторно-курортных и рекреационных объектов на основе базовых комплексов.

Путь к решению этих задач лежит через создание санаторно-лечебно-туристических территорий (СЛТТ), отличающихся многообразием и уникальностью ресурсов, а также опорных санаторно-лечебно-туристических центров (СЛТЦ). Эти участки-территории при высоких бальнеологических, благоприятных климатических и емких рекреационных характеристиках должны обладать теплоэнергетическими геотермальными ресурсами, обеспечивающими их круглогодичную работу.

С учетом всех вышеперечисленных факторов наиболее перспективными СЛТТ являются следующие (с севера на юг): Паланская, Русаковская, Оксинская, Эссовская, Киреунская, Шапинская, Пущинская, Налычевская, Петропавловско-Елизовская, Малкинская, Апачинская, Больше-Банная, Верхнее-Паратунская, Паужетско-Кошелевская, расположенные во всех административных районах полуострова и отражающие почти все (кроме материковой части) ландшафтно-климатические зоны.

В границах СЛТТ сохраняют свое значение и действующие бальнеологические, и рекреационные объекты, и в большинстве своем именно они могут стать СЛТЦ. При проектировании центров важны архитектурно-дизайнерские решения, и конечно же полный комплекс туристическо-спортивных услуг, включая горные лыжи, сплав по рекам, а также узаконенные рыбалка и охота.

Подводя итоги сказанному авторы надеются, что предложенная концепция санаторно-курортного и рекреационного строительства получит поддержку в государственных, муниципальных и предпринимательских структурах и будет способствовать превращению Камчатского края во всероссийскую здравницу.

НОВЫЙ ПОДХОД В ОБНАРУЖЕНИИ ОПЕРАТИВНОГО ПРЕДВЕСТНИКА ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В ЭЛЕКТРИЧЕСТВЕ ПРИЗЕМНОЙ АТМОСФЕРЫ

Руленко О.П.

*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский;
e-mail: rulenko@kscnet.ru*

Введение

К настоящему времени в различных сейсмоактивных регионах мира (Средняя Азия, Северный Кавказ и Закавказье, Камчатка, Курилы, Китай, Япония, Калифорния) перед землетрясениями зарегистрированы аномальные возмущения атмосферного электрического поля у поверхности земли. В обзорных работах (Руленко, 2000; Сидорин, 1992) показано, что они возникают обычно за первые десятки часов-первые часы перед событиями с магнитудой $M > 3.5$ на расстоянии до 200-250 км от эпицентра. Обнаружение и исследование этих возмущений актуально для изучения механизма воздействия литосферы на атмосферу во время заключительной стадии подготовки землетрясений и для использования в оперативном сейсмическом прогнозе. На Камчатке атмосферно-электрические наблюдения с целью обнаружения и изучения предвестника землетрясений начаты по инициативе автора в 1991 году (Руленко и др., 1992, 1996).

Согласно монографии (Гохберг и др., 1988), пионером изучения связи атмосферного электричества с землетрясениями является, по-видимому, А. Гумбольдт, наблюдавший в середине XIX века с помощью электроскопа "быстрые изменения" электрического потенциала воздуха во время землетрясения. Однако, несмотря на свою известность, это явление изучено слабо.

В последнее время появились новые представления о природе и механизмах образования предсейсмических возмущений электрического поля в приземной атмосфере. Показано, что, как многие другие предвестники, эти возмущения имеют деформационную природу и вызваны усилением деформирования приповерхностных слоев земной коры в зоне подготовки землетрясения. Неоднородное структурно-тектоническое строение коры обуславливает мозаичный характер проявления возмущений, а активизация деформационного процесса на заключительной стадии подготовки землетрясений - их оперативный масштаб времени. Установлено, что существуют два механизма образования сейсмоаномальных возмущений электрического поля, которые обуславливают появление двух типов наблюдаемых аномалий. Первый механизм связан с увеличением содержания в приземном воздухе основного естественного ионизатора ^{222}Rn в результате увеличения его потока с поверхности земли в атмосферу. При этом возникают отрицательные аномалии поля. Второй механизм связан с подвижками по разломам и разломным зонам, которые сопровождаются механоэлектрическими преобразованиями энергии и одновременным возникновением множества локальных электрических диполей. Отличный от нуля их суммарный электрический момент может вызвать появление вблизи разлома макроскопического электрического поля и возмущение в виде пакета колебаний с некоторым набором частот (Руленко, 2000).

В работе (Руленко, 2003) выяснено, что отрицательные аномалии электрического поля регистрируются на эпицентральной дистанции, где величина возмущенной деформации земной поверхности уменьшается до уровня приливной деформации. Это свидетельствует о возникновении аномалий в зоне подготовки землетрясений (Добровольский, 1991) и служит дополнительным доказательством их деформационной природы, а также связи с процессом подготовки.

Традиционно для обнаружения сейсмоаномальных возмущений приземного атмосферного электричества анализируется поведение градиента потенциала V'

электрического поля, так как это наиболее легко измеряемая атмосферно-электрическая характеристика. Однако градиент потенциала V' формируется неоднородным пространственно-временным распределением объемных электрических зарядов в большой области, окружающей точку наблюдения. В динамике V' отражается действие глобальных и локальных генераторов электрических зарядов в атмосфере (Чалмерс, 1974). Большое число факторов, которые определяют различные вариации V' , существенно затрудняет и часто делает невозможным выявление аномалий сейсмогенного происхождения. Этим, в значительной степени, объясняется слабая изученность предвестника землетрясений в электричестве приземной атмосферы. Для более эффективного его обнаружения предлагается новый подход, сущность и применение которого рассматриваются в настоящей работе.

Сущность подхода

Кроме измерений градиента потенциала V' , в атмосферном электричестве проводятся измерения другой важной характеристики - электрической проводимости воздуха, но они технически более сложны и менее распространены, чем измерения V' . Поэтому, несмотря на потенциальную информативность, электрическая проводимость воздуха не используется при обнаружении предвестника землетрясений (Руленко, 2000).

Предлагаемый подход основан на совместных измерениях градиента потенциала V' и полярных электрических проводимостей $\lambda_{\pm}$ воздуха, которые пропорциональны в первом приближении концентрации положительных и отрицательных легких ионов и характеризуют электрическое состояние воздуха (Шварц, Огуряева, 1982). Легкие ионы определяют основную часть тока проводимости в воздухе. По физическому принципу своего измерения (Колоколов, Шварц, 1976) полярные проводимости являются более локальной аэроэлектрической характеристикой и поэтому меньше, чем электрическое поле, зависят от глобальных факторов.

Целесообразность предлагаемого подхода основана на том, что при подготовке землетрясений происходит воздействие литосферы на атмосферу. Оно является составной частью взаимодействия твердой и газообразной геосферных оболочек и проявляется наиболее интенсивно на границе земля-атмосфера, где значительны потоки в воздух массы и энергии (Адушкин, Спивак, 2005; Адушкин и др., 2006; Войтов, Добровольский, 1994; Гохберг, 1999). Воздействие сопровождается, в частности, усилением поступления из земли радона, который вносит наибольший вклад в изменчивость ионообразования в приземном воздухе, вызывая изменение электрического состояния (Смирнов, 1992).

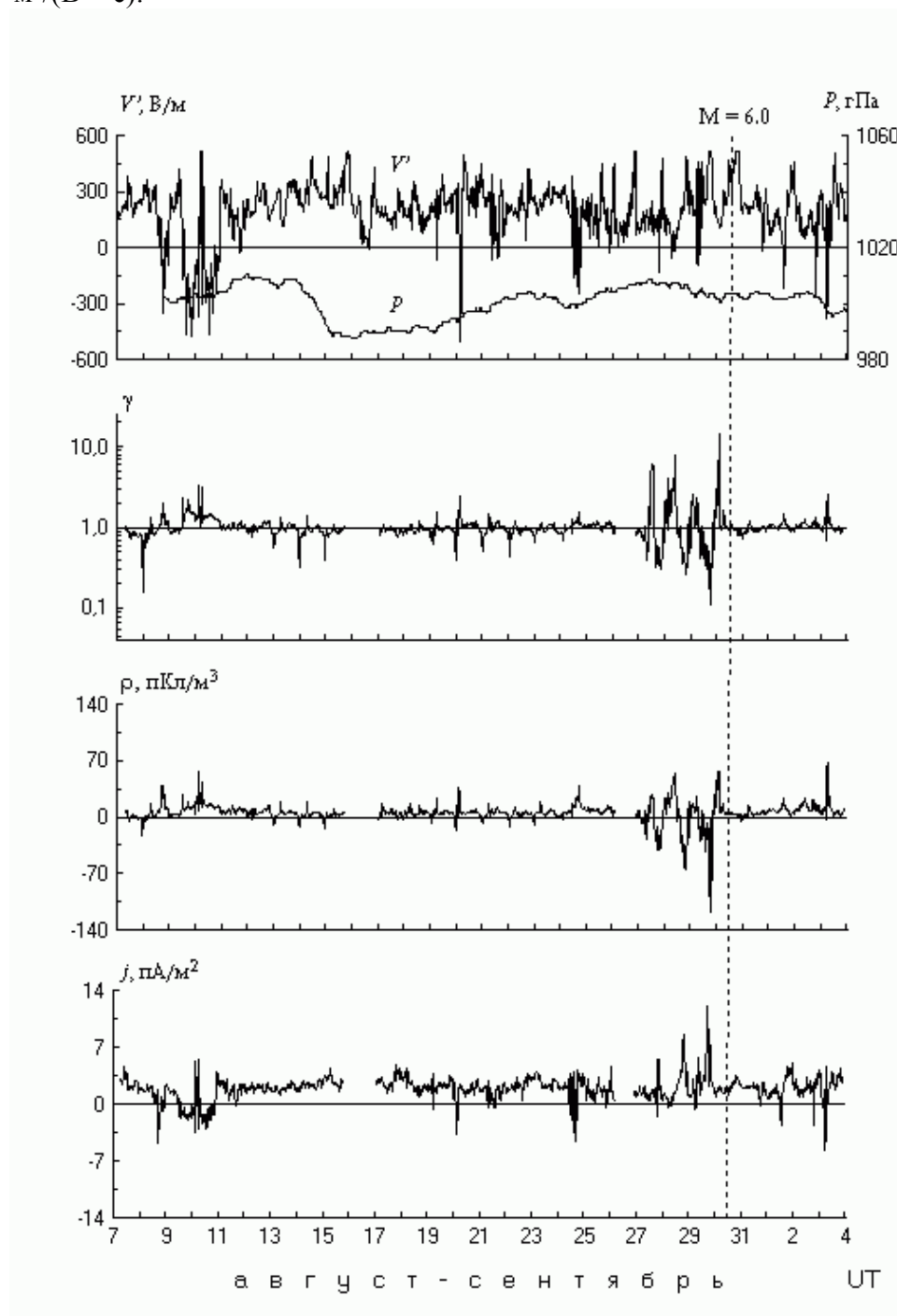
Данные совместных измерений $\lambda_{\pm}$ и V' позволяют вычислять известные в атмосферном электричестве параметры: коэффициент униполярности $\gamma = \lambda_{+}/\lambda_{-}$, плотность объемного электрического заряда, создаваемого легкими ионами $\rho = \lambda_{+}/u_{+} - \lambda_{-}/u_{-}$, и плотность вертикального тока проводимости $j = V' \times (\lambda_{+} + \lambda_{-})$, где u_{+} , u_{-} - средние подвижности положительных и отрицательных легких ионов. Параметр γ характеризует отношение концентраций положительных и отрицательных легких ионов, ρ - разность их суммарных зарядов, а j является показателем интенсивности действия генераторов объемного электрического заряда в воздухе. Анализ этих параметров позволяет следить за локальным электрическим состоянием приземного воздуха, что имеет большое значение для обнаружения предсейсмических возмущений. Слежение за электрическим состоянием воздуха с целью обнаружения предвестника землетрясений предлагается впервые.

Применение подхода

Предлагаемый подход был использован для ретроспективного анализа электрического состояния приземного воздуха перед землетрясением, произошедшим у Южной Камчатки (южнее мыса Шипунский) вблизи мыса Лопатка 30 августа 2004 г. в 12:23 UT. По данным Камчатского филиала ГС РАН (<http://wwwsat.emsd.ru>) координаты гипоцентра 49.38° с. ш., 157.42° в. д., глубина 40 км, локальная магнитуда $M = 6.0$. Это

событие было самым сильным в 2004 г. Атмосферно-электрические измерения проводились на обсерватории «Паратунка» (Руленко и др., 2007). Расстояние до эпицентра землетрясения составило 400 км.

На рис. представлены 30-минутные средние значения градиента потенциала V' , атмосферного давления P и рассчитанные по 30-минутным средним значениям $\lambda_{\pm}$ и V' значения параметров γ , ρ , j в период 7 августа-3 сентября 2004 г. Легкие ионы имеют относительно стабильные средние подвижности (Таммет, 1979). По результатам длительных измерений (Таммет и др., 1988) использованы значения $u_+ = 1.36 \times 10^{-4}$, $u_- = 1.56 \times 10^{-4} \text{ м}^2/(\text{В} \times \text{с})$.



Поведение градиента потенциала V' электрического поля, атмосферного давления P , коэффициента униполярности γ , плотности объемного электрического заряда легких ионов ρ и плотности вертикального тока проводимости j в период 7 августа-3 сентября 2004 г. Вертикальной пунктирной линией отмечен момент землетрясения.

Как видно на рисунке, в течение трех суток до землетрясения происходит раскачка экстремальных значений параметров γ , ρ и j в масштабе суточных вариаций, которая прекращается за 9-12 часов до него. Во время раскачки экстремальные значения всех параметров существенно превышают фон. Так, γ достигает минимального значения 0.1, а максимального - 14.5, что свидетельствует о сильном преобладании концентрации легких отрицательных ионов над положительными ионами в первом случае и положительных ионов над отрицательными во втором. Значения $\gamma < 0.5$ и $\gamma > 2.0$ трудно объяснимы и редко встречаются при измерении электрической проводимости приземного воздуха в асейсмичных регионах (Шварц и др., 1981; Шварц, Огуряева, 1982). В указанный период времени на обсерватории «Паратунка» сохранялась нижняя облачность 10 баллов, дождя и сильного ветра не было. Поэтому возмущение параметров γ , ρ и j перед землетрясением не имеет метеорологического происхождения.

Одновременное возмущение параметров γ , ρ , j свидетельствует об аномальном поведении электрического состояния приземного воздуха. Причиной аномального поведения является значительный отрицательный объемный заряд, который, несмотря на действие электродного эффекта, присутствует с раннего утра или с ночи до полудня по местному времени в течение трех суток перед землетрясением. Максимальное значение этого заряда увеличивается при приближении к моменту землетрясения и достигает -120 пКл/м³ в день перед событием. После полудня отрицательный заряд сменяется существующим обычно положительным объемным зарядом. Наличие длительно существующего отрицательного объемного заряда в воздухе подтверждается положительными одновременными возмущениями плотности вертикального тока проводимости, которые указывают на перенос положительного заряда вниз к отрицательному (Чалмерс, 1974). Максимальное значение $+12$ пА/м² плотность этого тока принимает, как и плотность отрицательного заряда, вечером 29 августа. Такое явление перед землетрясением обнаружено впервые.

Из-за постоянной изменчивости градиента потенциала V' аномальное возмущение его перед землетрясением не наблюдается (рисунок). За период измерений есть некоторое соответствие в медленном изменении V' и атмосферного давления P , вызванное влиянием на V' метеорологических процессов. Существенно, что поведение параметров γ , ρ и j более стабильно, чем поведение V' и в их поведении не отражаются изменения атмосферного давления. Сильное возмущение рассматриваемых параметров наблюдается только перед землетрясением, что свидетельствует об эффективности предлагаемого подхода.

При организации соответствующей системы атмосферно-электрических и метеорологических наблюдений предлагаемый подход может быть использован для обнаружения оперативного (сутки-часы) предвестника землетрясений.

Выводы

1. Предложен новый физически обоснованный подход в обнаружении оперативного предвестника землетрясений в электричестве приземной атмосферы. В отличие от существующего способа обнаружения аномальных возмущений электрического поля впервые рассматривается поведение электрического состояния приземного воздуха. Подход заключается в измерении градиента потенциала поля вместе с полярными проводимостями воздуха и анализе значений следующих параметров: коэффициента униполярности, плотности объемного заряда легких ионов и плотности вертикального тока проводимости с учетом данных метеонаблюдений.

2. Предлагаемый подход применен для ретроспективного анализа электрического состояния приземного воздуха перед землетрясением, произошедшим у Южной Камчатки 30 августа 2004 г. с магнитудой $M = 6$ на расстоянии 400 км от пункта измерений. Обнаружено, что за трое суток до землетрясения начинается одновременное аномальное возмущение данных параметров, которое заканчивается за 9-12 часов до события. Причиной возмущения является значительный отрицательный объемный заряд в воздухе.

Существенно, что поведение рассматриваемых параметров более стабильно, чем поведение электрического поля. Их сильное возмущение наблюдается только перед землетрясением, что свидетельствует об эффективности предлагаемого подхода.

Список литературы

- Адушкин В.В., Спивак А.А.* Роль тектонических нарушений в межгеосферных взаимодействиях на границе земная кора-атмосфера // Докл. РАН. 2005. Т. 402. № 1. С. 92-97.
- Адушкин В.В., Спивак А.А., Кишкина С.Б. и др.* Динамические процессы в системе взаимодействующих геосфер на границе земная кора-атмосфера // Физика Земли. 2006. № 7. С. 34-51.
- Войтов Г.И., Добровольский И.П.* Химические и изотопно-углеродные нестабильности потоков природных газов в сейсмически активных регионах // Физика Земли. 1994. № 3. С. 20-31.
- Гохберг М.Б.* Взаимодействие процессов в литосфере и у земной поверхности с внешними оболочками Земли // Геофизика на рубеже веков: Избранные труды ученых ОИФЗ РАН. М.: ОИФЗ РАН, 1999. С. 163-169.
- Гохберг М.Б., Моргунов В.А., Похотелов О.А.* Сейсмоэлектромагнитные явления. М.: Наука, 1988. 174 с.
- Добровольский И.П.* Теория подготовки тектонического землетрясения. М.: ИФЗ АН СССР, 1991. 217 с.
- Колоколов В.П., Шварц Я.М.* Методы наблюдений элементов атмосферного электричества. Обнинск: ВНИИГМИ - МЦД, 1976. 64 с.
- Руленко О.П.* Оперативные предвестники землетрясений в электричестве приземной атмосферы // Вулканология и сейсмология. 2000. № 4. С. 57-68.
- Руленко О.П.* Тензочувствительность предсейсмических отрицательных аномалий электрического поля в приземном воздухе // Сборник научных трудов Пятой Российской конференции по атмосферному электричеству. Т. II. Владимир: Транзит ИКС, 2003. С. 82-85.
- Руленко О.П., Иванов А.В., Шумейко А.В.* Краткосрочный атмосферно-электрический предвестник камчатского землетрясения 6.III. 1992, M=6.1 // Докл. РАН. 1992. Т. 326. № 6. С. 980-982.
- Руленко О.П., Дружин Г.И., Вершинин Е.Ф.* Измерения атмосферного электрического поля и естественного электромагнитного излучения перед камчатским землетрясением 13.11.93 г., M=7.0 // Докл. РАН. 1996. Т. 348. № 6. С. 814-816.
- Руленко О.П., Смирнов С.Э., Шевцов Б.М.* Возмущение электрического состояния приземного воздуха перед землетрясением у Южной Камчатки 30 августа 2004 г., M = 6.0 // Сборник трудов VI Российской конференции по атмосферному электричеству, Нижний Новгород, 1-7 октября 2007 г. Нижний Новгород: ИПФ РАН, 2007. С. 290-291.
- Сидорин А.Я.* Предвестники землетрясений. М.: Наука, 1992. 192 с.
- Смирнов В.В.* Ионизация в тропосфере. СПб.: Гидрометеиздат, 1992. 312 с.
- Таммет Х.Ф.* Элементы атмосферного электричества как параметры загрязненности воздуха // Труды ГГО. Л.: Гидрометеиздат, 1979. Вып. 418. С. 20-23.
- Таммет Х.Ф., Сальм Я.Й., Ихер Х.Р. и др.* Спектр подвижности аэроионов в приземном воздухе // Атмосферное электричество. Труды III Всесоюзного симпозиума. Л.: Гидрометеиздат, 1988. С. 46-50.
- Чалмерс Дж.А.* Атмосферное электричество. Л.: Гидрометеиздат, 1974. 421 с.
- Шварц Я.М., Ваюшина Г.П., Огуряева Л.В. и др.* Автоматизированные наблюдения за атмосферным электричеством // Труды ГГО. Л.: Гидрометеиздат, 1981. Вып. 442. С. 103-114.
- Шварц Я.М., Огуряева Л.В.* Основы построения сети наблюдений за электрическими свойствами атмосферы // Труды ГГО. Л.: Гидрометеиздат, 1982. Вып. 463. С. 118-128.

ЗАКОНОМЕРНОСТИ СВЯЗИ МЕЖДУ ИНТЕНСИВНОСТЬЮ СОВРЕМЕННОГО ГИДРОТЕРМАЛЬНОГО ПРОЦЕССА, МОРФОЛОГИЧЕСКИМ СТРОЕНИЕМ ПОЧВ И СТРУКТУРОЙ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА (НА ПРИМЕРЕ ТЕРМАЛЬНЫХ ПОЛЕЙ ПАУЖЕТСКОЙ ГИДРОТЕРМАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ)

Самкова Т.Ю.

*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский;
e-mail: l.samkova@kscnet.ru*

Характерной особенностью структуры растительного покрова термальных полей является микропоясность, неоднократно становившаяся предметом изучения исследователей (Нешатаева, 1994; Нешатаева и др., 1997; Плотникова, Трулевич, 1975; Рассохина, Чернягина, 1982; Самкова, 2007; Трасс, 1963 и др.). В качестве факторов, обуславливающих микропоясность, отмечались температурный режим почв, степень увлажнения субстратов, химизм термальных вод и т.д., при этом вопрос о ведущих факторах остается открытым.

Целью данной работы являлось изучение влияния гидротермального процесса на структуру растительного покрова термальных полей. Эта цель определила постановку и решение, в числе прочих, следующих задач: выделить регулирующие факторы и оценить их влияние на структуру растительного покрова; установить связь между закономерностями сложения растительного покрова и характеристиками местообитаний, обусловленными гидротермальным процессом.

Изучение растительности и почв термальных полей проводилось на Верхнем и Восточно-Паужетском термальных полях, а также на термопроявлении Южный источник Паужетской гидротермальной системы (рис. 1) в полевые сезоны 1990–1991 гг., в период с 1993 г. по 2004 г. и в полевые сезоны 2006–2007 гг.

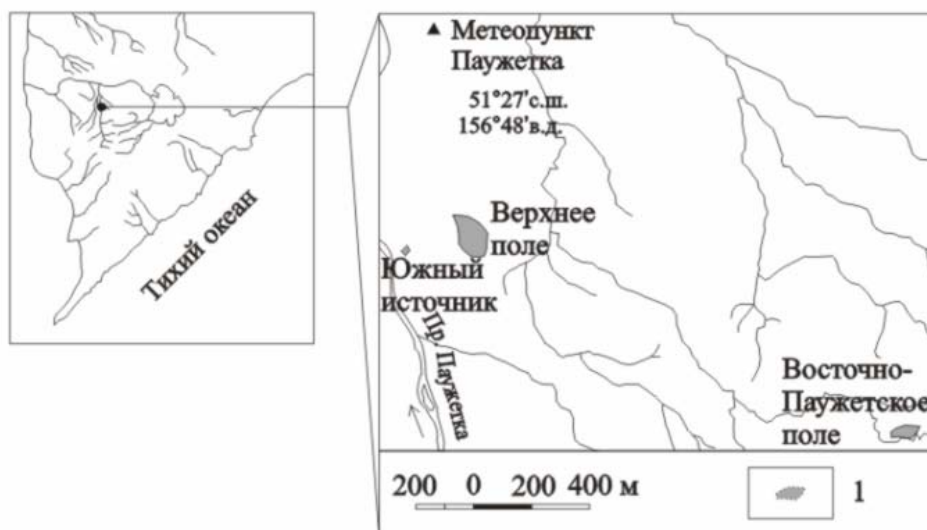


Рис. 1. Район исследований: 1- термальные поля.

Исследование проводилось с использованием метода экологического профилирования (Юнатов, 1964) с заложением почвенных разрезов. Для выявления связи сообществ с показателями тепловой интенсивности гидротермального процесса применялся метод прямой ординации по температурным характеристикам корнеобитаемого слоя почв и всего почвенного разреза.

Гидротермальный процесс, воздействуя на все компоненты ландшафта и режимы среды фитоценозов, существенно меняет условия существования растений. Изменяются как прямые, так и косвенные факторы среды фитоценозов. К прямым факторам,

испытывающим воздействию гидротермального процесса, относятся физиологически действующие режимы среды: в приземном слое воздуха – тепловой, газовый режим и режим влажности воздуха, в почве – тепловой, водный, почвенно-воздушный режим и режим почвенного раствора. Косвенное воздействие оказывают изменяющиеся под влиянием гидротермального процесса энтопические условия: микрорельеф и гранулометрический состав почв. Все эти факторы изменяются в пространстве по мере изменения тепловой интенсивности гидротермального воздействия, составляя комплексный градиент. Однако, из общего комплекса факторов, порождаемых гидротермальным процессом, можно выделить ведущие факторы, отвечающие за смену растительных сообществ.

Наиболее явные изменения под воздействием гидротермального процесса претерпевает морфологическое строение почв. Вулканические почвы, особенностям которых посвящен ряд работ (Захарихина, 2006; Зонн и др. 1963; Ливеровский, 1959; Соколов, 1973 и др.), уступают место почвам гидротермальных систем (рис. 2).



Рис. 2. Почвы территории Паужетской гидротермальной системы: 1 – слоисто-вулканические (в окрестностях Верхнего термального поля); 2 – почвы на частично преобразованных гидротермальным процессом субстратах (Верхнее термальное поле); 3 – почвы на гидротермальных субстратах (Верхнее термальное поле).

На территории и в окрестностях исследованных термальных полей распространены почвы трех групп, выделяемых на Камчатке в пределах гидротермальных систем (Гольдфарб, 2005): 1) развивающиеся на аэральных пирокластических субстратах (без морфологических признаков гидротермального изменения); 2) развивающиеся на пирокластических субстратах, частично преобразованных гидротермальным процессом; 3) формирующиеся на гидротермальных субстратах. Установлено (Гольдфарб, 2005), что по мере приближения к осевой зоне термопроявлений сокращается общая мощность почв и мощности отдельных генетических горизонтов, изменяются основные диагностические признаки. Происходит утяжеление гранулометрического состава, одновременно изменяются водно-физические свойства почв.

Выделенные группы почв связаны с участками различной интенсивности гидротермального воздействия (Гольдфарб, 2005): почвы на аэральных пирокластических субстратах распространены за пределами термальных полей; почвы, частично преобразованные гидротермальным процессом, формируются в зоне слабого или умеренного гидротермального воздействия; почвы на гидротермальных субстратах формируются в зоне наиболее интенсивного гидротермального воздействия.

Наши исследования почвенных профилей на Верхнем и Восточно-Паужетском термальных полях подтверждают установленные закономерности связи между степенью трансформации морфологических особенностей почв и интенсивностью

гидротермального процесса. При этом динамика гидротермального процесса, проявляющаяся в активизации его на одних участках и в угасании на других, а также консервативность морфологических характеристик приводят к тому, что картина связи между морфологическим строением почв и интенсивностью **современного** гидротермального процесса значительно усложняется. В результате пространственная структура морфологических изменений почв неточно отражает пространственную структуру современного гидротермального процесса. Эта неточность выражается в том, что есть как случаи соответствия между степенью трансформации морфологических особенностей почв и интенсивностью современного гидротермального процесса, так и случаи противоречия этих явлений друг другу.

Рис. 3 иллюстрирует случаи противоречия между степенью трансформации морфологических особенностей почв и интенсивностью современного гидротермального процесса.

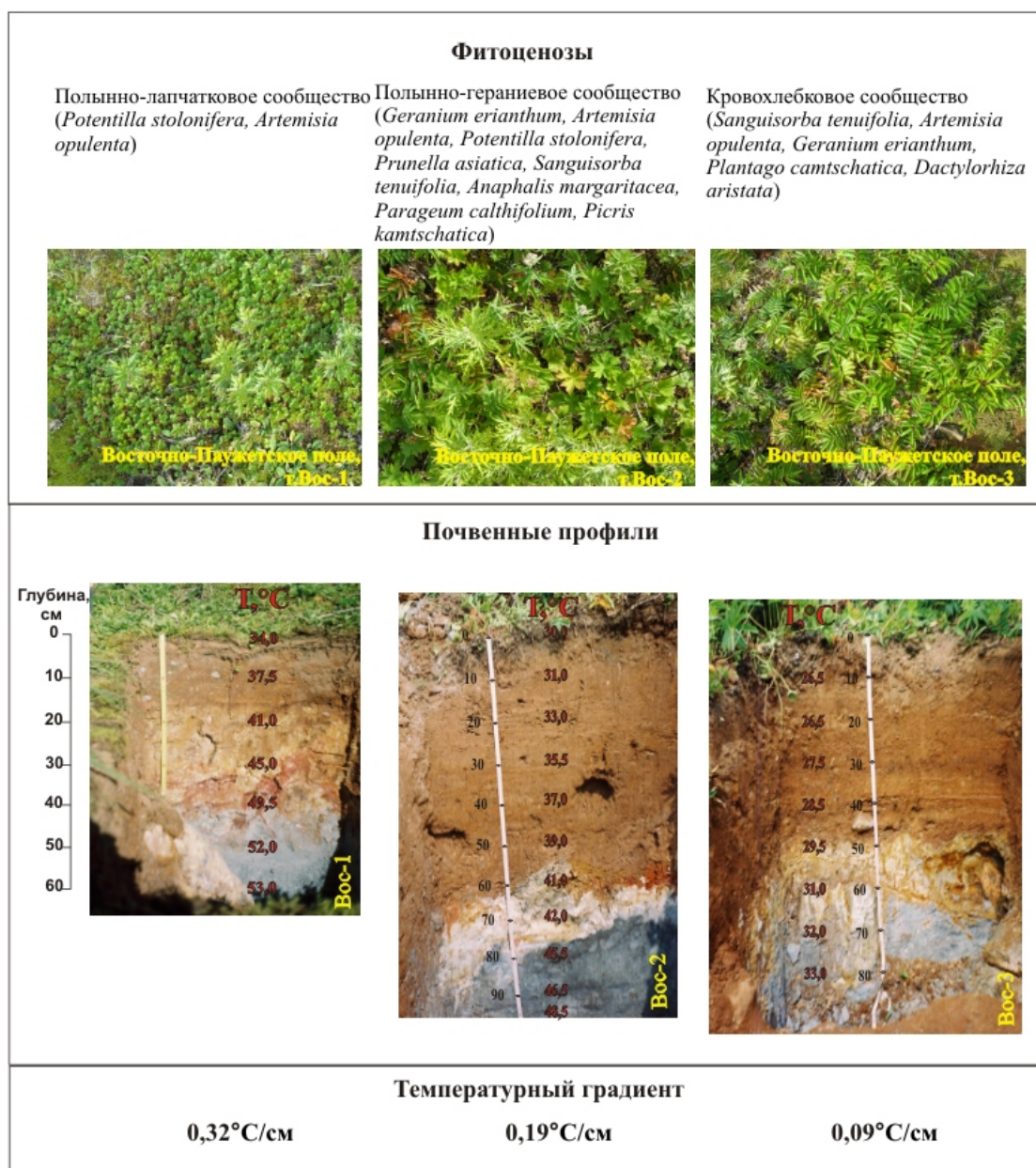


Рис. 3. Вариант первый: сходное морфологическое строение почвенных профилей — разные значения температурного градиента — разные фитоценозы.

Почвенные разрезы (Вос-1, Вос-2, Вос-3) свидетельствуют об интенсивном и длительном гидротермальном воздействии: отсутствует слоистость, свойственная вулканическим почвам, а также не прослеживаются погребенные горизонты. Значительная часть почвенного профиля во всех трех разрезах проработана до глин. При сходстве этих консервативных морфологических особенностей, температурные характеристики почвенных разрезов, свидетельствующие об интенсивности современного гидротермального процесса, резко отличаются. В качестве показателя тепловой интенсивности современного гидротермального процесса использован температурный градиент - характеристика, отражающая нарастание температуры в градусах Цельсия на единицу глубины. Вычисление этого показателя позволяет нивелировать различия в температуре почв, связанные с суточными и месячными колебаниями; температурный градиент использовался при характеристике геотермических условий термальных полей (Белоусов и др., 1976). Температурный градиент в разрезе Вос-1 составил $0.32^{\circ}\text{C}/\text{см}$, что соответствует высокой тепловой интенсивности гидротермального процесса, в разрезе Вос-2 температурный градиент составил $0.19^{\circ}\text{C}/\text{см}$ (умеренная тепловая интенсивность гидротермального процесса), а в разрезе Вос-3 температурный градиент – $0.09^{\circ}\text{C}/\text{см}$, что соответствует слабой тепловой интенсивности гидротермального процесса. При сходных морфологических особенностях почвенных профилей приуроченные к этим участкам растительные сообщества оказываются разными (рис. 3), так же как разными являются средние температурные градиенты в этих почвенных профилях.

Подобные случаи расхождения между степенью трансформации морфологических особенностей почв и тепловой интенсивностью современного гидротермального процесса позволили оценить степень сопряженности фитоценозов, морфологических особенностей почв и интенсивности современного гидротермального процесса и на основе этого вычленили ведущие факторы.

Результаты анализа сопряженности между вышеперечисленными явлениями и факторами приведены в таблице. В качестве показателя интенсивности гидротермальной проработки почвенного профиля использована глубина горизонта синих глин. Поскольку по мере развития гидротермального процесса происходит увеличение мощности переработанных горизонтов, которые продвигаются вверх по профилю (Гольдфарб, 2005; Ерощев-Щак и др., 1977), глубина горизонта синих глин служит мерой длительности интенсивного гидротермального воздействия и степени трансформации морфологических характеристик почв. В качестве показателя тепловой интенсивности современного гидротермального процесса использован средний температурный градиент.

Сопоставление почвенных профилей под близкими по флористическому составу фитоценозами (разрезы В-3, В-22, таблица) показало значительные различия в степени гидротермальной проработанности почвенных профилей и в их морфологическом строении, о чем свидетельствует различная глубина горизонта синих глин. Но общим для сравниваемых экотопов явилось одинаковое значение среднего температурного градиента ($0.56^{\circ}\text{C}/\text{см}$) (таблица).

Аналогично, сравнение разрезов Вос-1 и В-23 под полынно-лапчатковыми сообществами показало очень близкие значения среднего температурного градиента (0.32 - $0.33^{\circ}\text{C}/\text{см}$) (таблица). При этом в разрезе Вос-1 горизонт синих глин начинался с глубины 31 см, что свидетельствует об интенсивном и длительном гидротермальном процессе, а в разрезе В-23 этот горизонт отсутствовал (рис. 4). Сопоставление степени проработанности почвенного профиля и современного теплового режима позволило сделать заключение о направлении развития процесса – угасании в одном случае и активизации - в другом (разрез В-23).

Факторы, связанные с глубокой трансформацией морфологических особенностей почв под действием гидротермального процесса, такие как тяжелый гранулометрический состав, ухудшение водно-физических свойств, недостаток аэрации продолжают оказывать

влияние на растительность и после остывания субстратов. Тем не менее, они все же не препятствуют сукцессии, т. е. направленной смене растительных сообществ (рис. 3).

Таблица. Зависимость между фитоценозами, характеристиками температурного режима и морфологическими особенностями почв

Растительное сообщество	Разрез	Средний температурный градиент, °C/см	Глубина горизонта синих глин, см
Полевицево-фимбристилисово-зеленомошное (<i>Fimbristylis ochotensis</i> . <i>Agrostis pauzhetica</i> . <i>Campylopus umbellatus</i> . <i>Aulacomnium palustre</i>)	В-1	0.86	94
Полынно-зеленомошное (<i>Artemisia opulenta</i> . <i>Acetosella vulgaris</i> . <i>Rhytidiadelphus squarrosus</i>)	В-3	0.56	136
	В-22	0.56	68
Лапчатковое (<i>Potentilla stolonifera</i> . <i>Rhytidiadelphus squarrosus</i>)	В-2	0.48	150
Полынно-лапчатковое (<i>Potentilla stolonifera</i> . <i>Artemisia opulenta</i>)	Вос-1	0.32	31
	В-23	0.33	–
Полынно-гераниевое (<i>Geranium erianthum</i> . <i>Artemisia opulenta</i> . <i>Potentilla stolonifera</i> . <i>Prunella asiatica</i> . <i>Sanguisorba tenuifolia</i>)	Вос-2	0.19	79
Кровохлебковое (<i>Sanguisorba tenuifolia</i> . <i>Artemisia opulenta</i> . <i>Geranium erianthum</i> . <i>Plantago camtschatica</i> . <i>Dactylorhiza aristata</i>)	Вос-3	0.09	65

Выводы

На основе анализа сопряженности фитоценозов, морфологических особенностей почв и интенсивности современного гидротермального процесса были сделаны следующие выводы:

1. Существует достаточно четкое соответствие между растительными сообществами и значениями среднего температурного градиента: полевицево-фимбристилисово-зеленомошное – 0.86°C/см; полынно-зеленомошное – 0.56°C/см; лапчатковое – 0.48°C/см; полынно-лапчатковое – 0.32-0.33°C/см; полынно-гераниевое – 0.19°C/см; кровохлебковое – 0.09°C/см.

Этот вывод дополняет картину установленной ранее связи смен растительных сообществ с изменением температуры корнеобитаемого слоя почв по площади термального поля, а также с изменением совокупности показателей сезонной динамики температур почв (Самкова, 2007). С учетом всех аспектов установленной связи можно заключить, что существует четкое соответствие между растительными сообществами и следующими характеристиками: 1) температурой корнеобитаемого слоя почв (уровень горизонтальной структуры); 2) значениями среднего температурного градиента в почвах (уровень вертикальной структуры температурного поля в пределах почвенного профиля);

3) показателями сезонной динамики температур почв (уровень временной структуры температурного поля).

2. Растительные сообщества индицируют не конкретные почвенные разности, а интенсивность современного гидротермального процесса. Из этого следует, что:

а) длительность существования растительного сообщества зависит от продолжительности существования соответствующего экологического режима; изменение экологических условий по мере активизации или угасания гидротермального процесса влечет за собой сукцессионные изменения сообществ;

б) ведущими абиотическими факторами, детерминирующими смену сообществ, являются не консервативные характеристики, обусловленные гидротермальным процессом, такие как общая мощность почв, мощности отдельных генетических горизонтов, гранулометрический состав, а динамичные, изменчивые во времени факторы, существующие, пока существует интенсивный гидротермальный процесс, и исчезающие вместе с затуханием процесса. Такими ведущими факторами являются прогревание и поступление в корнеобитаемый слой почв гидротермального пара, сопровождающееся привносом солей и газов.

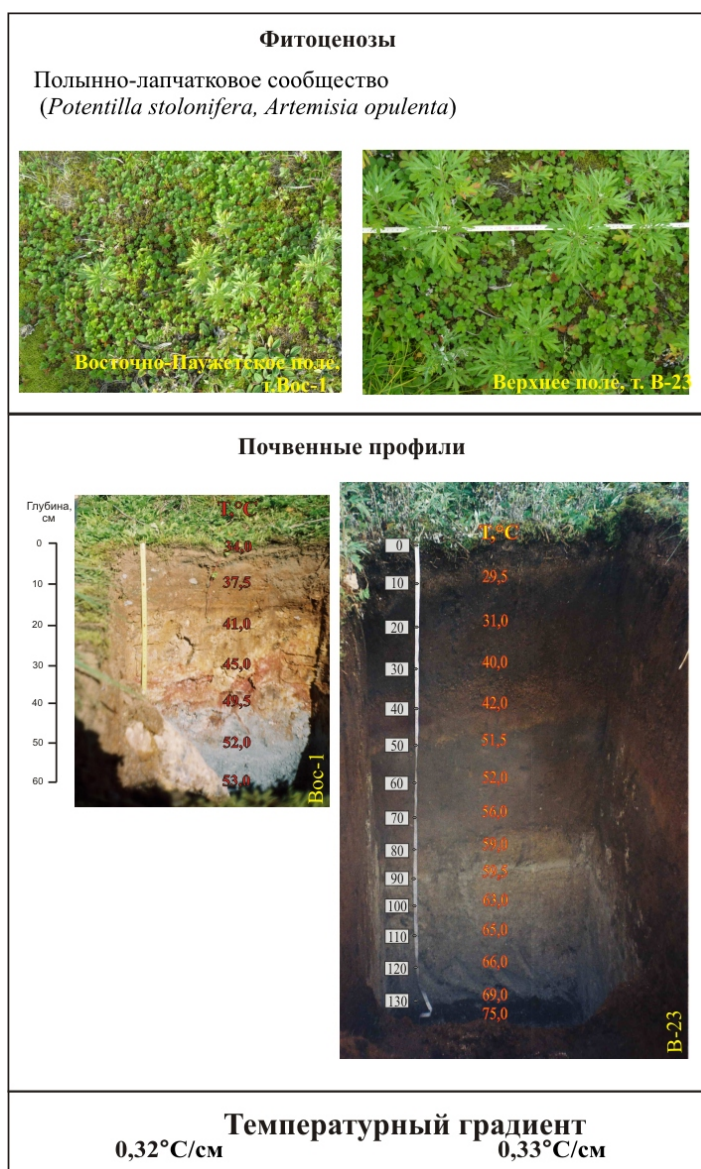


Рис. 4. Вариант второй: разное морфологическое строение почвенных профилей — близкие значения температурного градиента, а также температуры на глубине 50 см — близкие по флористическому составу фитоценозы.

Список литературы

- Белоусов В.И., Сузробов В.М., Сузрובה Н.Г.* Геологическое строение и гидрогеологические особенности Паужетской гидротермальной системы // Гидротермальные системы и термальные поля Камчатки. Владивосток, 1976. С. 23-57.
- Гольдфарб И.Л.* Влияние гидротермального процесса на почвообразование (на примере Камчатки). Автореферат дисс. канд. геогр. наук. М., 2005. 24 с.
- Ероцев-Шак В.А., Набоко С.И., Карпов Г.А. и др.* Формирование глинистых минералов при низкотемпературном процессе (на примере кальдеры Узон) // Гидротермальный процесс в областях тектоно-магматической активности. М.: Наука, 1977. С. 172-183.
- Захарихина Л.В.* Почвообразование на кислых и основных разновозрастных вулканических пеплах // Почвоведение. 2006. № 9. С. 1229–1236.
- Зонн С.В., Карпачевский Л.О., Стефин В.В.* Лесные почвы Камчатки. М.: Изд-во АН СССР, 1963. 340 с.
- Ливеровский Ю.А.* Почвы равнин Камчатского полуострова. М.: Изд-во АН СССР, 1959. 132 с.
- Нешатаева В.Ю.* Растительные группировки окрестностей горячих ключей // Растительность Кроноцкого государственного заповедника (Восточная Камчатка). Труды Ботанического ин-та РАН. 1994. Вып. 16. С. 195-201.
- Нешатаева В.Ю., Чернядьева И.В., Нешатаев В.Ю.* Растительный покров территории Нижне-Кошелевских термальных источников (Южная Камчатка) // Бот. журнал. 1997. Т. 82. №11. С. 65-79.
- Плотникова Л.С., Трулевич Н.В.* Зависимость флористического состава бассейна р. Паужетки от геотермальных источников // Бюл. Главн. бот. сада АН СССР. 1975. Вып. 98. С. 49-52.
- Рассохина Л.И., Чернягина О.А.* Фитоценозы термалей «Долины Гейзеров» // Структура и динамика растительности и почв в заповедниках РСФСР. М.: ЦНИЛ Главохоты РСФСР, 1982. С. 51-62.
- Самкова Т.Ю.* Структура растительности термального поля как отражение пространственной структуры гидротермальных процессов (на примере термальных полей Паужетской гидротермальной системы) // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2007. № 2. Вып. 10. С. 87-101.
- Соколов И.А.* Вулканизм и почвообразование. М.: Наука, 1973. 224 с.
- Трасс Х.Х.* О растительности окрестностей горячих ключей и гейзеров долины реки Гейзерной полуострова Камчатки // Исследование природы Дальнего Востока. Таллин: Изд-во АН ЭстССР, 1963. С. 112-146.
- Юнатов А.А.* Типы и содержание геоботанических исследований. Выбор пробных площадей и заложение экологических профилей // Полевая геоботаника. М.–Л.: Наука, 1964. Т. 3. С. 9-36.

40 ЛЕТ МАГНИТНЫХ ОБСЕРВАТОРСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ НА КАМЧАТКЕ

Смирнов С.Э., Назарец В.П.

*Институт космифизических исследований и распространения радиоволн
ДВО РАН, с. Паратунка, Камчатский край; e-mail: sergey@ikir.ru*

Обсерватория «Паратунка» ($52^{\circ} 58.33'$ северной широты, $158^{\circ}02'$ восточной долготы) расположена на юге Камчатского полуострова к западу от Авачинской бухты в долине, защищенной грядой невысоких сопков на высоте 50 м над уровнем моря. Вокруг участка, занимаемого обсерваторией, обширная площадь свободна от промышленных объектов и жилых застроек. В селе Паратунка отсутствуют крупные промышленные предприятия, электрофицированный транспорт, железные дороги. Все это определяет благоприятные условия для регистрации естественных геофизических полей без влияния индустриальных помех.

Выбор места строительства геомагнитной обсерватории осуществлялся сотрудниками Сибирского института земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн СО АН. Магнитную съемку местности проводил Ю.И. Матковский.

Строительство обсерватории (в составе комплексной магнитно-ионосферной станции) было начато Институтом вулканологии ДВНЦ АН СССР в 1964 году по программам геофизических проектов АН СССР.

К 1967 году были построены три павильона для геомагнитных наблюдений – два из них – деревянные, не содержащие железных предметов. Это позволило начать установку аппаратного комплекса для геомагнитных наблюдений, которой занималась группа сотрудников СиБИЗМИР (З.А. Федченко, Ю.И. Матковский, В.П. Назарец). В августе 1967 г. в одном из немагнитных деревянных павильонов были установлены две серии магнито-вариационных станций системы В.Н. Боброва для регистрации вариаций склонения, горизонтальной, вертикальной компонент геомагнитного поля и полной напряженности поля. В другом павильоне, не содержащем железных предметов, на специальных деревянных постаментах были установлены кварцевые магнитометры (QHM) для наблюдений абсолютных значений склонения и горизонтальной компоненты поля. Для измерений величины полной напряженности поля был установлен протонный магнитометр.

Непрерывная регистрация вариаций элементов геомагнитного поля на установках системы В.Н. Боброва началась в августе 1967 г. Наблюдения абсолютных значений компонент геомагнитного поля в период с августа 1967 г. по май 1968 г. проводились эпизодически. Регулярные абсолютные геомагнитные наблюдения на обсерватории начались с июня 1968 г. Наличие двух серий, синхронно записывающих вариации геомагнитных элементов, позволяло осуществлять контроль за достоверностью полученных наблюдений геомагнитного поля. Кварцевые вариометры В.Н. Боброва с момента установки и весь период их работы – в течении 40 лет сохраняли высокую стабильность. Многолетние ряды наблюдений компонент магнитного поля Земли представлены на рисунках 1, 2, 3. По этим данным можно судить о вековом ходе магнитных полюсов нашей планеты.

Сверку уровней приборов для наблюдений абсолютных значений компонент геомагнитного поля и проверку репрезентативности получаемых данных наблюдений помогали осуществлять специалисты ИЗМИРАН и СиБИЗМИР (зав. отделом сети обсерваторий Н.П. Попов).

Стабильная работа вариометров В.Н. Боброва позволяла в любой момент времени определить по их записям абсолютные значения элементов земного магнитного поля. Полный комплекс геомагнитных наблюдений и их обработка выполнялась по программам для обсерваторий мировой сети. Оперативная ежедневная информация о геомагнитной активности передавалась в прогностический центр.

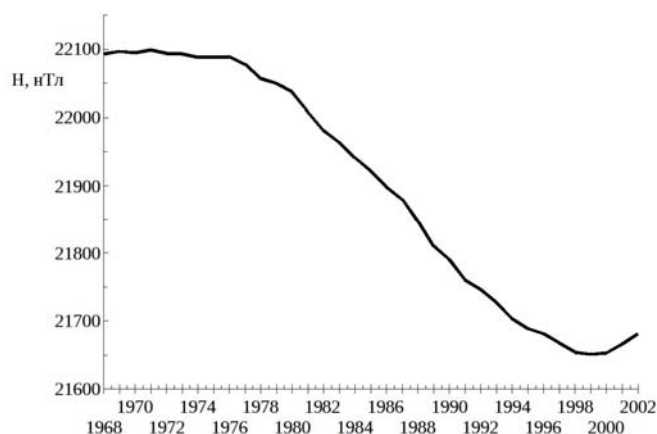


Рис. 1. Абсолютное значение H-компоненты гемагнитного поля на обсерватории Паратунка.

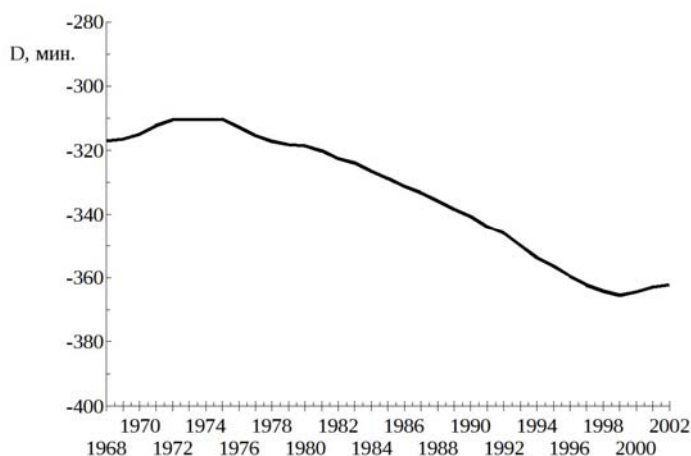


Рис. 2. Абсолютное значение D-компоненты гемагнитного поля на обсерватории Паратунка.

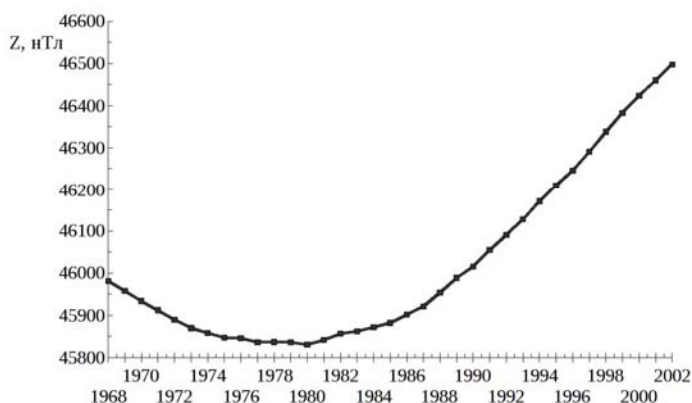


Рис. 3. Абсолютное значение Z-компоненты гемагнитного поля на обсерватории Паратунка.

По результатам непрерывных наблюдений составлялись месячные отчеты, годовые обзоры состояния геомагнитного поля, которые отправлялись в МЦДБ₂ с целью международного обмена. Данные о K-индексах геомагнитной обстановки отправлялись в Институт Физики Земли для вывода планетарных K_p -индексов по данным обсерваторий мировой сети. В ИЗМИРАН геомагнитные данные отправлялись для целей магнитной картографии и для публикации в сводных сборниках данных обсерваторий мировой сети. Материалы геомагнитных наблюдений высылались заинтересованным научным и

производственным организациям. Наряду с этим, обсерватория обеспечивала полевые геофизические партии данными по вариациям и активности геомагнитного поля, осуществляли привязку геофизических съёмок к базисным уровням. На обсерваторию раньше (до 1990-х годов) приезжали сверять свои приборы экспедиции проводившие аэро- и морские магнитные съёмки в акваториях Камчатки.

Но в обсерваторской работе важны не только высококачественные приборы, но и человеческий фактор - добросовестная работа наблюдателей. Большой вклад в проведении регулярных геомагнитных наблюдений и их обработки внесли: В.А. Потапова, М.Т. Курников, Л.В. Блинова, Т.М. Калошина, А.Н. Карнаухова, А.Ф. Райкевич. В зимние периоды проведение геомагнитных наблюдений нередко было связано с преодолением огромных снежных заносов до павильонов наблюдений.

На основе полученных данных геомагнитных наблюдений, на обсерватории проводились исследования, связанные с изучением векового хода геомагнитного поля, а также – с выявлением закономерностей вариаций компонент геомагнитного поля разных диапазонов с целью изучения природы источников среднеширотных геомагнитных возмущений.

Результаты исследований опубликованы в центральных и региональных журналах геофизического профиля. В осуществлении указанных выше исследований большую помощь оказывали сотрудники ИЗМИРАН и Ленинградского государственного университета. Ведущие ученые страны доктора наук Н.П. Бенькова, О.А. Трошичев, В.А. Липеровский личным вниманием способствовали развитию геофизических исследований на обсерватории.

Под руководством зав. Лабораторией МИС к.ф.-м.н. Л.Е. Колоколова в 1974-1978 г.г. проводилась работа по совместному анализу данных геомагнитных и ионосферных наблюдений, в которой принимал участие коллектив обсерватории. По результатам анализа написаны коллективные научные отчеты. В тот период с 1972 г. по 1987 г. обсерватория - в составе отдела электромагнитного поля Земли – относилась к Северо-Восточному КНИИ ДВНЦ АН СССР.

Знаковым событием в жизни обсерватории явилось проведение школы-семинара «Метрологические основы магнитных наблюдений Сибири и Дальнего Востока» 11-16 августа 2003 г. После периода упадка российской науки вновь были скоординированы усилия наших магнитологов. Были определены современные методики наблюдений, сформулированы требования к приборам и программам обработки, намечены перспективы международной интеграции. В настоящий момент обсерватория располагает абсолютными инструментами: протонным магнитометром ММП-203М2, изготовленным в «Геологоразведке» С.-Петербург в 2004 г., который имеет разрешающую способность 0.1 нТл и DI-магнитометром Lemi (Украина) 2004 г., который имеет разрешающую способность 1".

В рамках международной программы Интермагнет сотрудники обсерватории посетили XI IAGA Workshop on Geomagnetic Observatory, Instruments, Data Acquisition and Processing 9-17 ноября 2004 г. в обсерватории Kakioka/Tsukuba, Japan.

В январе 2008 г. в рамках сотрудничества с Геофизическим центром в Подсдаме (GeoForschungsZentrum Potsdam) сотрудники ИКИР участвовали в тренинговой программе для магнитных обсерваторий на базе обсерватории Нимегк (Niemegk Magnetic Observatory/ Section 2.3 Earth's Magnetic Field of GeoForschungsZentrum Potsdam). В тренинговую программу входило ознакомление и обучение по работе с новейшими магнитометрами применяемыми для обсерваторских измерений и обработке полученных результатов. Во время данной практики проводимой лично доктором Иоахимом Линсом руководителем обсерватории (Dr. Hans-Joachim Linthe, Helmholtz Centre Potsdam, GFZ German Research Centre for Geosciences Deputy head of the Adolf Schmidt Observatory), были встречи и с руководителем секции 2.3 доктором Миарой Мандеа (Prof. Dr. Mioara Manda).

В настоящее время на обсерватории «Паратунка» проводятся следующие основные измерения:

- Вариации геомагнитного поля (H, D, Z – компоненты магнитного поля);
- абсолютные обсерваторские измерения вектора геомагнитного поля;
- Вертикальной составляющей градиента напряженности электрического поля в приземном слое атмосферы прибором “Поле-2” либо “Градиент-2”;
- Низкочастотные баровариации в атмосфере.
- Электропроводность приземного слоя атмосферы, обусловленной положительными и отрицательными ионами с помощью установки “Электропроводность – 2”;
- Оптические снимки ночного неба с целью регистрации атмосферных гравитационных волн;
- Регистрация метеопараметров.

Интеграцию в научное сообщество ИКИР отражает участие в программах:

1. Международной программе «Прогноз космической погоды», совместно с NiCT (Япония). Измеряются H, D, Z – компоненты магнитного поля с интервалом 1 сек. и передаются в центр сбора информации в Токио.

2. Международной программе Интермагнет (Европейский Союз). Проводятся обсерваторские наблюдения абсолютных значений компонент магнитного поля и их вариаций, формируется банк данных с интервалом 1 мин. и рассылается в мировые центры данных.

3. Международной программе MAGDAS (MAGnetic Data Acquisition System, Япония). Space Environment Research Center (Japan), при университете Кюсю. По этой программе была установлена на обсерватории Паратунка цифровая ионосферная станция и автоматизированный магнитометрический комплекс. В рамках проекта развертывания сети Circum-pac Pacific Magnetometer Network (CPMN) планируется установить около 60-ти однотипных магнитометров MAGDAS вдоль 210-го магнитного меридиана и вдоль магнитного экватора. Развертывание этой сети позволит отслеживать магнитосферные процессы по всему околоземному пространству в реальном времени и проводить проверку 3-х мерных моделей магнитосферных возмущений.

4. Международной программе “Ground and Satellite Measurements of Geospace Environment in the Far Eastern Russia and Japan” (Университет Нагойи, Япония). Измеряются H, D, Z – компоненты магнитного поля индукционным магнитометром с частотой 64 Гц для исследования геомагнитных пульсаций. Проводятся фотографирование ночного неба широкоугольной камерой с целью обнаружения внутренних гравитационных волн в атмосфере на высотах от 80 до 300 км.

5. Международной программе представления баз данных по солнечно-земной физике SPIDR (Space Physics Interactive Data Resource). Интерактивный ресурс данных по солнечно-земной физике (SPIDR) – это распределенная сеть синхронных баз данных и серверов приложений, позволяющая выбирать, визуализировать и моделировать исторические данные по космической погоде в сети Интернет.

Данные измерений геофизических полей поставляются в мировые центры данных:

- МЦД (Москва)
- SPIDR (Боулдер, США)
- Интермагнет (Бирмингем, Великобритания)
- КФ ГС РАН (Петропавловск-Камчатский)
- Метеорологический институт (Дания)
- NiCT (Токио, Япония)
- SERC (университет Кюсю, Япония)
- STEL (университет Нагойи, Япония)
- Гидромет (Москва)
- ИЗМИРАН (Москва)

К ВОПРОСУ О МЕХАНИЗМЕ ВУЛКАНИЧЕСКИХ ВЗРЫВОВ

Сторчеус А.В.

*Институт вулканологии и сейсмологии, г. Петропавловск-Камчатский;
e-mail: sav@kscnet.ru*

Среди основных вопросов, рассматриваемых при исследовании механизма вулканических взрывов (ВВ), наиболее интересным с физической точки зрения представляется вопрос о причинах скачкообразного повышения избыточного давления газов в подводящем магматическом канале под кратером вулкана. ВВ – первая стадия вулканических эксплозивных извержений, после которой, как правило, для всех типов извержений, кроме стромболианского и гавайского, начинается вторая стадия – истечение пепло-газовой смеси из кратера вулкана. На стадии ВВ происходит вскрытие подводящего магму вулканического канала (иногда с разрушением значительной части вулканической постройки) и выброс расплавленного и твердого материала в виде лавовых бомб или глыб из слагающих вулканическую постройку пород. При этом в очаге ВВ в течение короткого времени развивается большое избыточное давление, а разлет лавовых бомб или глыб достигает 10 км от кратера вулкана. Величина избыточного давления в очаге ВВ, по некоторым оценкам, достигает от нескольких сотен до 1000 атм.

Исследователями предлагались различные гипотезы для объяснения этого явления – от вскипания метеорной воды при контакте с горячей магмой до экзотермических химических реакций в вулканических газах. В основе наиболее обоснованных физических моделей, объясняющих причины быстрого повышения избыточного давления, лежит гипотеза Верхугена о механизме образования пепла (Verhoogen, 1951). Одно из основных положений этой гипотезы – частицы вулканического пепла образуются из магмы при слиянии газовых пузырьков, содержащихся в магме. Таким образом, размер пепловых частиц зависит от размеров газовых пузырьков, а избыточное давление газа в пузырьках должно обеспечивать работу выброса при ВВ. Основная роль в создании избыточного давления в газовых пузырьках отводится силе вязкости, препятствующей расширению газовых пузырьков, образующихся в магматическом расплаве при его подъеме к дневной поверхности или при быстром сбросе внешнего давления – декомпрессии.

Общие положения

Давление газа P_g в растущем пузырьке определяется по формуле (Sparks, 1978)

$$P_g = P_m + 2\sigma / R + \rho_m(\ddot{R}R + \frac{3}{2}\dot{R}^2) + 4\mu\dot{R}/R, \quad (1)$$

где: P_m – давление в магме, ρ_m – плотность магмы, σ – поверхностное натяжение в пузырьке с радиусом R , μ – динамическая вязкость магматического расплава, $\dot{R}$ и $\ddot{R}$ – скорость и ускорение роста пузырька.

Из анализа формулы (1) видно, что создание избыточного давления газа в пузырьке $\Delta P = P_g - P_m$ обеспечивают 3 фактора: 1 – сила поверхностного натяжения, 2 – сила инерции магмы и 3 – сила вязкого сопротивления росту пузырька. Эти 3 фактора учитываются тремя членами уравнения (1).

Для вязких жидкостей инерционный член $P_\rho = \rho_m(\ddot{R}R + \frac{3}{2}\dot{R}^2)$ будет иметь значение только на начальной стадии роста пузырька, когда ускорение и скорость роста пузырька достаточно велики. В дальнейшем, когда рост пузырька, ограниченный диффузией газа, замедляется, инерционным членом при оценке ΔP можно пренебречь. Авторы моделей ВВ, основанных на силе вязкости в создании избыточного давления в расширяющихся газовых пузырьках, рассматривают только вязкостный член $P_\mu = 4\mu\dot{R}/R$ в уравнении (1),

пренебрегая остальными членами, в том числе и членом $P_\sigma = 2\sigma/R$, учитывающим поверхностное натяжение на границе газ-расплав. Это допущение было основано на полученных в 50-е и 60-е годы прошлого века данных о минимальных размерах пепловых частиц. Считалось, что минимальный размер пепловых частиц составляет $\sim 10^{-6}$ м и, естественно, в пузырьке такого размера влиянием силой поверхностного натяжения в создании большого избыточного давления газа можно пренебречь. Поэтому при создании гипотезы ВВ основное значение придавалось вязкостному члену в уравнении (1).

Но вязкостный член в неявном виде содержит время – важный параметр, от которого зависит скорость расширения пузырька и, следовательно, давление в пузырьке. Чем быстрее расширяется пузырек, тем большее избыточного давления газа в нем создается и наоборот. Поэтому основным условием при создании моделей ВВ принималась неравновесность процесса газоотделения. Таким образом, после ряда совершенствований и доработок, вязкостная модель ВВ трансформировалась в декомпрессионную модель (Чернов и др., 2004; Lensky et al., 2004), наиболее интенсивно разрабатываемую в настоящее время в вулканологии.

Необходимо отметить, что в декомпрессионной модели, основанной на предположении о том, что избыточное давление в расширяющемся газовом пузырьке создается за счет сил вязкого сопротивления и не может превышать величину сброшенного давления, а скорее еще меньше, так как оно ограничено еще и скоростью диффузии газа в растущий пузырек. В таком случае, для того, чтобы в очаге ВВ создалось избыточное давление в сотни атмосфер, способное произвести работу выброса твердого материала на десятки километров, как в случае ВВ Безымянного, необходимо вначале мгновенно сбросить гидростатическое давление на тысячу атмосфер. После этого газовые пузырьки должны практически мгновенно объединиться. Иначе замедление роста пузырьков вследствие снижения диффузии ведет к уменьшению избыточного давления в пузырьке по сравнению с величиной декомпрессионного сброса давления, из-за уменьшения влияния вязкостного члена в динамическом уравнении роста пузырька. А именно такое замедление роста пузырьков перед их слиянием должно происходить вследствие: 1) - уменьшения объема межпузырьковых перегородок и 2) - снижения концентрации в них молекул свободного флюида и уменьшении градиента концентрации летучих в расплаве, что в итоге ведет к уменьшению диффузионного потока газа из расплава в пузырьки.

В рамках декомпрессионной модели можно объяснить такие типы вулканической деятельности как плиннианская или одноактные сильные взрывы типа Безымянного. Перед каждым таким взрывом должен происходить сброс давления в магматическом канале, что обычно связывают с обрушением постройки вулкана или вскрытием жерла вулкана. Для ВВ вулканского типа это не наблюдается. Поэтому основная проблема при использовании декомпрессионной модели возникает при объяснении ВВ вулканского типа. Взрывы вулканского типа происходят и без предварительной продувки, которую можно принять за декомпрессию. В то же время избыточное давление при таких взрывах достигает 10 МПа и более.

Экспериментальные и численные расчеты декомпрессионной модели ВВ показывают, что даже при значительном насыщении расплава летучими и высоком уровне декомпрессии (до 100 МПа = 1000 атм), количество нуклеусов в единице объема магмы N не превышает 10^{15} в 1 м^3 . Поэтому минимальные размеры пепловых частиц, способных образоваться при слиянии газовых пузырьков, должны превышать 1 мкм.

Но при сильном эксплозивном извержении вулкана Сент-Хеленс в 1980 г. минимальный размер мельчайших частиц вулканического пепла в выброшенном вулканическом облаке составлял $n \cdot 10^{-8}$ м (Hobbs et al., 1981; Pollack et al., 1981). Такого же размера частицы были зафиксированы и на извержении вулкана Алаид в 1980 г (Земцов, 1986). Причем следует особо отметить, что их сферическая форма свидетельствует о том, что они были образованы из жидкого расплава, а не в результате

дробления более крупных твердых пепловых частиц при их столкновении. Образование таких маленьких пепловых частиц возможно только в том случае, если количество пузырьков N в единице объема магмы будет достигать 10^{21} – 10^{24} в 1м^3 .

Принимая во внимание даже только вышеперечисленные несогласия декомпрессионной модели с фактами, наблюдаемыми в эксплозивном вулканизме, приходится признать несовершенство этой модели и необходимость поиска других причин, играющих ведущую роль в механизме ВВ и способных расширить диапазон применимости физической модели ВВ, а также удовлетворительно объяснить наблюдаемые факты и закономерности этого процесса. Иначе, в том случае, если наблюдения, проведенные на извержениях вулканов Сент-Хеленс и Алаид в 1980 г. выполнены корректно (в чем трудно сомневаться) и мельчайшие частицы пепла $\sim 10^{-8}$ м существуют, следует изобрести иной механизм их возникновения, чем описанный Верхугеном. Этот факт, противоречащий данным лабораторных экспериментов, должен найти свое объяснение.

Таким образом, можно утверждать, что декомпрессионная модель, не способна обеспечить достаточно большое давление для 1-ой фазы ВВ и объяснить наблюдаемое разнообразие типов извержений и сопутствующих явлений и фактов. Можно полагать, что декомпрессия в механизме ВВ может служить лишь как способствующий фактор, но не основной.

Влияние сил поверхностного натяжения

Обратим теперь внимание на член $P_\sigma = 2\sigma/R$ в уравнении (1), отвечающий за избыточное давление в газовом пузырьке за счет сил поверхностного натяжения. Проведенные оценки P_σ на основе экспериментальных данных (Sparks, 1978) о коэффициенте поверхностного натяжения σ показывают, что для того, чтобы этот член имел весомое значение в создании избыточного давления в газовом пузырьке (10–100 МПа), необходимо, чтобы радиус R пузырьков перед их слиянием составлял не более 10^{-7} – 10^{-8} м. И, несмотря на то, что в лабораторных экспериментах их авторы не наблюдали таких маленьких пузырьков, данные, полученные при полевых работах на активных вулканах, допускают возможность существования таких пузырьков.

Автор настоящего доклада ранее, в (Сторчеус, 1983), получил аналитическое решение задачи о гомогенной нуклеации воды в газонасыщенном расплаве, одним из следствий которого являлась оценка размера газовых зародышей $R_0 \approx 10^{-9}$ м и минимальный размер газовых пузырьков при их слиянии для сильных ВВ типа вулкана Безымянного в 1956 г.. Краткое и усовершенствованное решение задачи о выделении летучих из магматического расплава при квазиравновесном процессе приведено ниже. Равновесный процесс газоотделения в большей степени, по-видимому, соответствует реальным условиям в вулканической системе на стадии подготовки ВВ, чем декомпрессионная модель нуклеации и имеет то преимущество при анализе, что можно рассматривать только начальные и конечные условия процесса без учета его динамики.

Приведем основные законы и соотношения, на основе которых будем проводить наши расчеты. В качестве летучих, как это было принято и в других исследованиях, будем рассматривать водяной пар.

Равновесная концентрация C для воды, растворенной в магме, подчиняется закону Генри:

$$C = K(P_m)^{0.5}, \quad (2)$$

где K – константа растворимости, P_m – гидростатическое давление в магме, атм..

Из закона Генри следует, что изменение концентрации воды в расплаве dC при снижении давления в магме на величину dP_m будет равно:

$$dC = -0.5 K * dP_m / (P_m)^{0.5}. \quad (3)$$

Эта вода из расплава выделяется в газовые пузырьки. Газ в пузырьках находится под давлением P_g , избыточным относительно гидростатического давления P_m :

$$P_g = P_m + 2\sigma / R, \quad (4)$$

где σ – поверхностное натяжение в пузырьке с радиусом R . Газовые пузырьки образуются в пересыщенной летучими магме из газовых зародышей, преодолевших энергетический барьер W :

$$W = 16\pi\sigma^3 / 3(P_g - P_m)^2. \quad (5)$$

Степень пересыщения расплава ΔP определяется как: $\Delta P = (P_g - P_m)$. Подставим в (5) значение ΔP из (4). Это позволит нам избавиться от неопределенного значения степени пересыщения магмы и определить радиус нуклеуса R_0 : $W = 4\pi\sigma R_0^2 / 3$. Из (Эпельбаум и др., 1973) известно, что в газонасыщенных магмах $\sigma \approx (3 \div 5) \cdot 10^{-2}$ Н/м. Активационный барьер W по данным, приведенным в (Murase and McBirney, 1973), составляет 1–5 эВ = $(1.6 \div 8) \cdot 10^{-19}$ Дж. Таким образом, радиус нуклеуса, преодолевшего критический барьер $R_0 = (1.2 \div 2.5) \cdot 10^{-9}$ м. В нем заключены $\sim 10^2$ – 10^3 молекул воды (газового флюида). Такого же размера критические пузырьки были определены в работе (Mangan et al., 2000) на основе экспериментальных данных. Степень пересыщения ΔP , определенная по формуле (5) будет равняться: для $\sigma = 3 \cdot 10^{-2}$ Н/м, $\Delta P = (2.1 \div 4.8) \cdot 10$ МПа (210–480 атм.), а для $\sigma = 50 \cdot 10^{-3}$ Н/м, $\Delta P = (5 \div 11) \cdot 10$ МПа (500–1100 атм.).

Рассчитаем теперь максимально возможное количество пузырьков N в единице объема расплава, образовавшихся в результате нуклеации. Для этого воспользуемся выражением (3), чтобы определить количество газа, выделившегося при пересыщении расплава. Используем из экспериментальных данных (Sparks, 1978) значение $K = 0.13$, а ΔP примем равным 10^2 МПа. Гидростатическое давление в магме примем $P_m = 4 \cdot 10^2$ МПа, соответствующим глубине 10 км (уровень нуклеации, рассчитанный в (Сторчеус, 1983) для случая ВВ вулкана Безымянный в 1956 г.). Тогда $\Delta C \approx 1$ вес.%, что составляет ~ 25 кг H_2O или $8.3 \cdot 10^{26}$ молекул H_2O в 1 м^3 .

Количество устойчивых пузырьков N преодолевших критический радиус R_0 можно рассчитать из соотношения Райса и Каца (Скрипов, 1972):

$$f(n) \sim \frac{N_1}{n} \exp\left[-\frac{W}{kT}\right], \quad (6)$$

где k – постоянная Больцмана, T – абсолютная температура расплава, W – активационный барьер, n – число молекул в критическом пузырьке, N_1 – число элементарных зародышей в единице объема. Полагая $W = 1.6 \cdot 10^{-19}$ Дж и считая, что N_1 равно числу межмолекулярных пустот в расплаве $N_1 = 3 \cdot 10^{26}$, получим количество пузырьков с $R_0 \approx 1 \cdot 10^{-9}$ м в единице объема магмы $N \approx (1-2) \cdot 10^{23}$ в 1 м^3 .

В дальнейшем газовые пузырьки постепенно подрастают при медленном снижении гидростатического давления по мере приближения магмы к дневной поверхности. Пузырьки, находясь в квазиравновесном состоянии с расплавом, растут до размера R_k , когда при достижении состояния плотной упаковки начинается их слияние. Размеры пузырьков во время их коалесценции можно оценить из соотношения $N \approx 1/(2 R_k)^3$, из которого следует, что $R_k = (1-2) \cdot 10^{-8}$ м. Избыточное давление газа в пузырьках ΔP относительно гидростатического до начала коалесценции, рассчитанное из (4) для условий: $\sigma = (30-40) \cdot 10^{-2}$ Н/м (Лебедев, 1981) и $P_m = 50-100$ МПа, соответствующих глубине начала процесса коалесценции 1.2–2.5 км, может составлять $\Delta P = P_g - P_m = 2\sigma/R_k \approx (60-80)$ МПа (600–800 атм.). При слиянии таких газовых пузырьков это избыточное давление летучих уже не сдерживается силой поверхностного натяжения и реализуется на механическую работу выброса вулканического материала. Такой механизм газоотделения способен объяснить сильные ВВ типа Безымянного 1956 г.

Расчеты, проведенные выше, были выполнены на основе общеизвестных формул и соотношений, используемых при описании процессов нуклеации в пересыщенных растворах. На результаты расчета величины N в основном влияет значение энергии активации W (5), которая в свою очередь зависит в значительной мере от коэффициента поверхностного натяжения σ и степень пересыщения расплава ΔP . Эти параметры в природе могут значительно отличаться от полученных в лабораторных экспериментах в

сторону их уменьшения (см. рассуждения на эту тему в (Sparks, 1978). В (Скрипов, 1972) указывается, что при $R_0 \rightarrow 0$, величины σ и W тоже стремятся к нулю.

На рисунке схематически представлены 3 основных этапа и уровни дегазации расплава в поднимающейся магматической колонне: этап 1 – магма без пузырьков газа. По мере подъема магматический расплав достигает на некоторой глубине уровня насыщения, после которого наступает этап 2 – в магме происходит нуклеация и рост газовых пузырьков. При квазиравновесном процессе газоотделения давление P_g в пузырьке: $P_g = P_m + 2\sigma/R$. В итоге давление газа P_g в пузырьке на 2-ом этапе подъема определяется гидростатической силой и поверхностным натяжением – P_σ . На 3-м этапе, после достижения состояния плотной упаковки в результате роста пузырьков при подъеме магмы, пузырьки начинают объединяться и образуют большие газовые пузыри (газовые полости). Силы поверхностного натяжения в больших газовых пузырях (полостях) пренебрежимо малы и давление в них определяется гидростатическим давлением окружающей магмы.

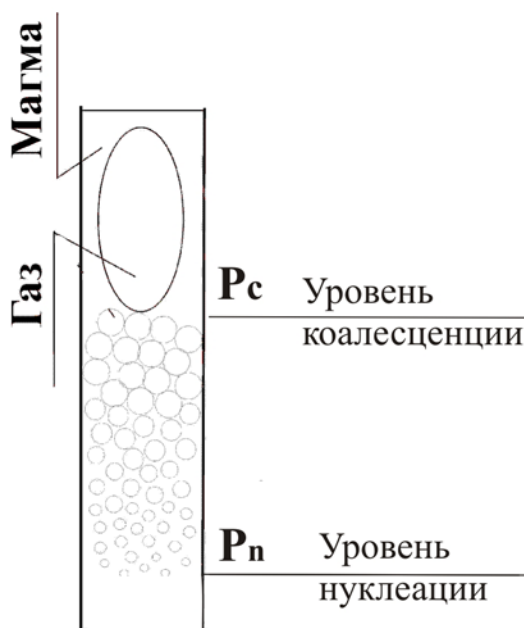


Схема дегазации магматического расплава.

Механизм ВВ вулканского типа

Рассчитаем давление в газовом пузыре, образовавшемся сразу после уровня коалесценции при условии, что давление от поверхностного натяжения мало. Эта ситуация возникает в том случае, когда количество пузырьков N в единице объема магмы мало. Для этого воспользуемся законом Генри (2) и условиями, принятыми нами выше (равновесность процесса). Полагаем также, что в магме, окружающей газовую полость после уровня коалесценции, содержание летучих также определяется законом Генри. Прежде всего, определим уровень коалесценции P_c относительно уровня нуклеации P_n . На уровне коалесценции концентрация летучих в газовой фазе определяется как ΔC уравнением (3): $\Delta C = 0.5 K \Delta P / (P_n)^{0.5}$, где $\Delta P = P_n - P_c$. Если полагать процесс роста и объединения пузырьков изотермическим и при условии сохранения массы газа (отсутствие химических реакций в расплаве и в свободной фазе) получим, что выделившийся объем газа V_g при изменении уровня концентрации на ΔC равен:

$$V_g = \rho_m V_m \Delta C / 100 \rho_g P_c,$$

где ρ_g – плотность газа при атмосферном давлении и температуре магмы. Полагая, что слияние мелких пузырьков происходит при $V_m \approx V_g$, из вышеприведенного уравнения получим, что $P_c = \rho_m \Delta C / 100 \rho_g$. Подставляя вместо ΔC его значение из (3) и учитывая, что $\Delta P = P_n - P_c$, получим зависимость, определяющую уровень коалесценции P_c относительно уровня нуклеации P_n :

$$P_c = \Omega P_n / \Omega + (P_n)^{0.5}, \quad \text{где } \Omega = K \rho_m / 200 \rho_g.$$

Расчеты уровня коалесценции P_c , выполненные по этой формуле, приведены в таблице. Из таблицы следует, что уровень коалесценции, примерно соответствующий весовому содержанию летучих в магме вулкана Карымского, равен $\sim 21\div 40$ МПа. Это означает, что, на глубине $\sim 0.5 - 1$ км выделившийся из магмы газ будет находиться уже не в газовых пузырьках, а в больших газовых пузырях или полостях, образовавшихся после слияния пузырьков. При этом будет сохраняться механическое равновесие газовой полости с окружающей средой $P_m = P_c$. То есть, в отдельной полости не будет избыточного давления, способного произвести работу выброса против сил гидростатического давления.

Если N недостаточно велико для создания в газовой полости, образующейся в магматическом канале после коалесценции пузырьков, избыточного давления газа, способного преодолеть гидростатическое давление и произвести работу выброса, в нижележащем слое магмы после очередного цикла слияния пузырьков возникает другая газовая полость, отделенная от вышележащей слоем частично дегазированной магмы. Таким образом, формируется цепочка полостей, которые при их объединении имеют скачок давления на верхней кромке, вновь образованной после объединения газовых пузырей полости (Сторчеус, Плотников, 2006).

Зависимости давлений P_n и P_c от газосодержания C в расплаве и соответствующих им глубинам H

C , вес. %	P_n , МПа	H , км	P_c , МПа	H , км
1.3	10	0.25	4.7	0.117
4.1	100	2.5	21- 40	0.5 – 1.0
7.1	300	7.5	41- 80	1.0 - 2.0
9.2	500	12.5	55 -96	1.4 – 2.4
13.0	1000	25.0	84 - 133	2.1 – 3.3

Переход от одного режима вулканической активности к другому (от типа Безымянного к вулканскому) регулируется количеством пузырьков N в единице объема. Избыточное давление в газовой полости появляется в том случае, если пузырьки при коалесценции имеют достаточно малые размеры и силы поверхностного натяжения нельзя не учитывать. Такие пузырьки, находясь в равновесном состоянии с магмой и окружающей магматический канал вулканической постройкой, способны доставить содержащийся в них под высоким давлением газ достаточно близко к земной поверхности. В зависимости от размеров пузырьков, избыточное давление газа в них, как было описано выше, может достигать 100 МПа и способно преодолеть гидростатическое давление вышележащих твердых пород. В этом случае механизм ВВ происходит по схеме, описанной выше и в (Сторчеус, 1983).

Предлагаемая модель сочетает два различных механизма ВВ при двух режимах дегазации, в основе которой лежит единый физический процесс, обеспечивающий скачкообразный рост давления вулканических газов под кратером вулкана во время ВВ. Модель согласуется с экспериментальными данными о физических свойствах расплавов и натурными наблюдениями. При этом, в качестве следствия, показана принципиальная возможность существования иной физической модели ВВ, в отличие от декомпрессионной модели, основанной на вязкостных свойствах расплавов, в которой основная роль в создании высокого давления принадлежит силам поверхностного натяжения.

Список литературы

Земцов А.Н. Исследование твердой дисперсной фазы эруптивного вулканического облака. Автореф. дисс. канд. геол.-мин. наук. М., 1986. С.22.

Лебедев Е.Б., Влияние воды на физико-химические свойства расплавов магматического состава. Автореф. дисс. док. химических наук. М., 1981. 42 с.

Сторчеус А.В. К вопросу о природе вулканических взрывов // Вулканология и сейсмология. 1983. № 4. С.72-78.

Сторчеус А.В., Плотников С.П. Сейсмологические исследования эксплозий вулкана Карымский в 2001-2004 гг. // Материалы международного симпозиума «Проблемы эксплозивного вулканизма» К 50-летию катастрофического извержения вулкана Безымянный 25-30 марта 2006 г. Петропавловск-Камчатский, 2006. С. 106-111.

Скрипов В.П. Метастабильная жидкость. М.: Наука, 1972. С. 312.

Чернов А.А., Кедринский В.К., Давыдов М.Н. Спонтанное зарождение пузырьков в газонасыщенном расплаве при его мгновенной декомпрессии // Прикладная механика и техническая физика. 2004. Т. 45. № 2. С.162-168.

Эпельбаум М.Б., Бабашов И.В., Салова Т.П. Поверхностное натяжение кислых магматических расплавов при высоких параметрах // Геохимия. 1973. № 3. С. 461-464.

Hobbs P.V., Radke L.F., Eltgroth M.W., Hegg D.A. Airborne Studies of the Emissions from the Volcanic Eruptions of Mount St. Helens // Science. 1981. V. 211. P. 816-818

Farlow N.H., Oberbeck V.R., Snetsinger K.G., Ferry G.V. Size Distributions and Mineralogy of Ash Particles in the Stratosphere from Eruptions of Mount St. Helens // Science. V. 211. P. 832-834.

Lensky N.G., Navon O., Lyakhovsky V. Bubble growth during decompression of magma: experimental and theoretical investigation // Journal of Volcanology and Geothermal Research. 2004. 129. P. 7-22.

Mangan M., Sisson T. Delayed, disequilibrium degassing in rhyolite magma: decompression experiments and implications for explosive volcanism // Earth and Planetary Science Letters. 2000. V. 83 № 3. P. 441-455.

Murase, T., McBirney, A.R. Properties of some common igneous rocks and their melts at high temperatures. // Geol. Soc. Am. Bull. 1973. V. 84. P. 3563-3592.

Pollack J.B. Measurements of the Volcanic Plumes of Mount St. Helens in the Stratosphere and Troposphere: Introduction // Science. 1981. V. 211. P. 815-816.

Sparks R.S.J. The dynamics of bubble formation and growth in magmas: a review and analysis // Journal of Volcanology and Geothermal Research. 1978. V. 3. P. 1-37.

Verhoogen J. Mechanics of ash formation // Am. J. Sci. 1951. V. 249. P. 729-739.

ИНТЕГРАЦИЯ ВУЗОВСКОЙ И АКАДЕМИЧЕСКОЙ НАУКИ НА КАМЧАТКЕ

Сущева М.В.

*Камчатский государственный университет им. Витуса Беринга,
г. Петропавловск-Камчатский*

Камчатка, несмотря на свою отдаленность, никогда не была интеллектуальной провинцией. Вплоть до середины 80-х годов 20-го века доля населения с высшим, неоконченным высшим, средним общим и специальным образованием на 1000 человек в Камчатской области была сопоставима с уровнем, сложившимся в столицах наиболее социально развитых союзных республик и крупнейших городах СССР.

Камчатский край не относится и к тому, довольно значительному числу регионов страны, в которых интеллектуальный потенциал представляет лишь высшая школа. К тому времени, когда на Камчатке появился первый вуз – ныне это Камчатский государственный университет имени Витуса Беринга, – на территории уже успешно функционировало 5 научных подразделений, занимавшихся исследованиями в области вулканологии, геологии, сейсмологии, сельского хозяйства и рыбной промышленности.

Интеллектуальный потенциал региона достаточно высок. На данный период в Камчатском крае аккредитовано шесть научных организаций Российской академии наук, десять ведомственных научных подразделений, более 10 проектных институтов, около пятидесяти научно-производственных предприятий.

Высшее профессиональное образование обеспечивают три высших учебных заведения (2 государственных университета и один негосударственный вуз) и 12 различных филиалов и представительств вузов из других регионов. Тем не менее, и наука, и образование прошли в своем развитии через период кризиса.

Во время реформ, когда научные организации претерпели кризис, сказавшийся на объемах, количестве направлений научных исследований, научно-технической оснащенности, кадровой обеспеченности научно-исследовательской деятельности, депрессивные тенденции привели к объективной необходимости объединительных, интеграционных процессов в сфере науки и образования Камчатки. Интеграция была необходимым условием, обеспечивающим полноценное развитие и науки, и образования в регионе, сохранение его интеллектуального потенциала. Она была нужна не только научным организациям, оказавшимся в кадровом тупике из-за оттока и старения кадров, но и вузам, поскольку в период бурного роста и развития увеличилась потребность высших учебных заведений в высококвалифицированных кадрах и научном оборудовании, опоре на сложившиеся в области научные традиции.

В 2001 году в целях интеграции научно-образовательного потенциала региона при поддержке Администрации области была создана Камчатская региональная ассоциация «Учебно-научный центр» (КРАУНЦ). Она объединила ведущие образовательные, научные и инновационные учреждения Камчатского региона. Базовой структурой для ее создания стал Камчатский государственный педагогический университет – старейший вуз региона.

Учредителями КРАУНЦ стали: Камчатский государственный педагогический университет (в настоящее время КамГУ им. Витуса Беринга); Институт вулканологии ДВО РАН; Камчатская опытно-методическая сейсмологическая партия ГС РАН; Институт вулканической геологии и геохимии ДВО РАН; Камчатский институт экологии и природопользования ДВО РАН; Научно-исследовательский геотехнологический центр ДВО РАН.

Задачи КРАУНЦ:

√ научно-методическое обеспечение региональной политики в области науки и образования, способствующее развитию системы образования и науки в Камчатском крае;

- √ поддержка развития направлений фундаментальных и прикладных исследований по приоритетным для региона направлениям науки;
- √ координация совместной деятельности в области реализации научных и образовательных программ с целью оптимального использования научно-образовательного потенциала Камчатского края для решения важнейших для региона задач;
- √ интеграция научно- производственной и кадровой базы университета и научно- исследовательских учреждений для наиболее эффективного решения научно-исследовательских и образовательных задач; организация Центров коллективного пользования (ЦКП) для научно - образовательного сообщества Камчатки, в том числе Центров коллективного пользования приборами, Центров научно-технической информации, региональных банков данных по различным направлениям и проч.;
- √ создание современной информационной базы, обеспечивающей доступ к глобальным системам информации и связи, и использование новых информационных технологий для эффективного проведения научных исследований, развития новых форм образования и обучения;
- √ создание, сохранение и развитие условий для подготовки научно-педагогических кадров высшей квалификации по ключевым направлениям научно-технического прогресса для науки, высшего образования и промышленности Камчатки и Российской Федерации;
- √ создание условий для активизации научно- исследовательской деятельности студенческой молодежи Камчатки, сохранения научного потенциала региона, восполнения и развития ведущих научных школ области;
- √ развитие инновационной деятельности и создание региональной инфраструктуры инновационного процесса, включая экономическую систему, систему информационного обеспечения, экспертизы, сертификации и продвижения разработок, подготовки и переподготовки кадров и др.

Ассоциация позволила реально объединить кадровые, материальные, ресурсные и другие возможности научных организаций, образовательных учреждений и производственных предприятий региона для решения образовательных и научных задач, дала мощный импульс развитию ведущего вуза Камчатки. Так, например, сотрудничество с научными организациями позволило университету, долгое время развивающемуся по преимуществу как гуманитарный вуз, в короткие сроки существенно укрепить естественнонаучное направление, создать необходимую кадровую и лабораторную базу для новых специальностей. Благодаря поддержке научного сообщества и совместной организационной и методической работе были лицензированы специальности «геология», «геофизика», «биология», ряд научных специальностей естественнонаучного направления.

Сегодня специалисты Камчатского научного центра привлекаются к преподаванию специальных дисциплин, к руководству всеми видами практик и дипломных работ, участвуют в создании новых кафедр, разработке программ открытия новых специальностей и др. В составе Камчатской региональной ассоциации «Учебно-научный центр» функционируют 4 хорошо оборудованные интегративные учебные лаборатории естественнонаучного профиля. Учебные специализированные и учебно-исследовательские практики проводятся в лабораториях, на полигонах Камчатского научного центра ДВО РАН, Комитета «Камчатприродресурс», на объектах промышленной добычи минерального сырья крупнейших производственных организаций региона (ОАО «Корякгеолдобыча» и «Быстринская горнорудная компания»). Параллельно идет формирование собственной базы учебно-научного центра для проведения учебных практик. Активное участие научных и производственных организаций в реализации образовательных программ явилось следствием их переориентации на подготовку кадров в регионе и желанием участвовать в этом процессе.

Как уже отмечалось, университет имеет сильные традиции в подготовке специалистов гуманитарного направления. Поэтому интеграционные процессы здесь протекают по

несколько иному сценарию. Вуз выступает как центр притяжения и сплочения всех творческих сил Камчатки, объединения их вокруг задач духовного возрождения региона, сохранения его уникальной культуры. Интеграция с ведущими гуманитарными научными центрами региона выступает в большей степени как способ поддержки этих центров за счет разработки и реализации совместных образовательных и научных программ. Результатом такой работы стала реализация целого ряда совместных научно-образовательных проектов.

Подразделения Камчатского учебно-научного центра – это интеграционные структуры различного типа: научно – образовательные (кафедры, лаборатории, ЦКП и др.), организационно-управленческие (отделы), инновационные (Центры инноваций, новых технологий и проч.), информационные (ЦНТИ, музеи, библиотеки), которые необходимы для решения основных задач Центра.

Количество интегративных подразделений КРАУНЦ

НИИ	учебные лаборатории	научные лаборатории (отделы)	стационары, полигоны	ЦКД
3	4	17	3	6

Интегративные научные подразделения по существу являются механизмом осуществления реальной интеграции науки и образования. Главный принцип их работы - объединение кадровых, материальных и других ресурсов для решения общих научных и/или образовательных задач. Объединены следующие ресурсы образовательных и научных учреждений.

Интеграция на базе регионального УНЦ ресурсов образовательных и научных учреждений для решения образовательных задач

Ресурсы	Формы использования
Интеллектуальные	Разработка региональных программ в области образования: 1) формулирование региональных приоритетов в области образования; 2) разработка на основе оценки состояния и прогноза социально-экономического развития края программы подготовки специалистов с высшим и средним профессиональным образованием; 3) разработка программ развития профессионального образования всех уровней в регионе, включая перспективные планы развития профессиональных образовательных учреждений; 4) разработка региональной программы подготовки научных и научно-педагогических кадров. Разработка региональных нормативно-правовых актов по совершенствованию и развитию системы образования. Научно-методическое обеспечение образовательных программ: 1) написание учебников, учебных пособий; 2) разработка учебных программ спецкурсов, спецсеминаров, практик и практикумов.
Кадровые	Преподавание дисциплин в рамках образовательных программ вузовской и послевузовской подготовки. Руководство учебно-производственными практиками. Руководство научно-исследовательской работой студентов. Участие в программах повышения научной квалификации научно-педагогических кадров и др.

Организа- ционные	Координация деятельности научных и образовательных учреждений области по реализации образовательных программ, распространению и внедрению регионального, отечественного и зарубежного опыта эффективной организации образовательной деятельности.
Материаль- ные	Создание центров коллективного доступа для эффективной реализации образовательных программ. Предоставление материальной базы научных и производственных учреждений для реализации образовательных программ.

Организация научных исследований на базе регионального учебно-научного центра основана на следующих принципах.

√ интеграция научного и образовательного потенциала региона, ориентированная на максимальное и эффективное привлечение всех научно-образовательных ресурсов для решения крупных научно-исследовательских задач, проведения фундаментальных и прикладных исследований;

√ привлечение научного потенциала к решению задач социально-экономического развития региона, сотрудничество с Администрацией края в формировании и поддержке региональных приоритетов научных исследований;

√ преимущественная ориентация на комплексные, междисциплинарные исследования, значимые для социально-экономического развития региона;

√ использование регионального УНЦ, объединяющего научно-образовательные ресурсы региона, как базовой институциональной структуры региональной научно-технической политики;

√ использование потенциала университета как ведущего интегрирующего звена регионального УНЦ.

В программе научных исследований КРАУНЦ выделены три направления, приоритетно важных для региона:

освоение ресурсов, использование природной (географической) среды для решения социальных, образовательных и культурных задач;

сохранение и возрождение уникальной культурной среды региона, при особом внимании к традиционной культуре;

развитие образовательного пространства региона, обогащение современными информационными технологиями.

Организация научных исследований также опирается на создание и функционирование интеграционных структур.

Интеграционные научные структуры призваны объединить усилия ученых региона для решения комплексных региональных проблем. В составе КРАУНЦ функционируют три интегративных научно-исследовательских института «НИИ геофизики, геологии и экологии Камчатки», «НИИ региональных гуманитарных проблем», «НИЦ информатизации образования Камчатки», включающие в себя 17 интегративных научных лабораторий.

Научно-педагогические кадры интегративных подразделений КРАУНЦ

Общую координацию исследовательской деятельности, проводимой на базе учебно-научного центра, осуществляет Координационный совет. Кроме того, созданы и успешно функционируют секции Координационного совета по направлениям, Координационный совет КРАУНЦ по научно-техническому творчеству молодежи, работающий на правах секции КС.

Функция	Структура	Нормативная база
Управление, координация	Координационный совет Секции Координационного совета по научным направлениям. Ученые советы интеграционных НИИ Координационный совет по научно-техническому творчеству молодежи	Устав
Обеспечение НИД	Интеграционные НИИ и научные лаборатории	Положение об интегративной лаборатории, Положение о НИИ, Положение о секции координационного совета КРАУНЦ
Обеспечение НИРС	Интеграционные научные лаборатории, лаборатории и кафедры всех организаций-членов КРАУНЦ	Положение об интеграционной научной лаборатории, Положение о студентах-соисполнителях по темам НИР, Требования к НИРС студентов
Подготовка кадров высшей квалификации	Сеть аспирантур всех организаций-членов КРАУНЦ, объединенных в рамках единой системы послевузовской подготовки в Камчатском крае. Региональные диссертационные советы.	Положение о региональной системе послевузовской подготовки.

Планирование и контроль за выполнением плана научных исследований осуществляют Ученые советы интегративных НИИ.

Результаты деятельности интегративных подразделений представлены в таблице.

год	наименование проекта	сумма, тыс. руб.
2003	1. Участие студентов в научной деятельности институтов ДВО РАН	16.0
	2. Организация профильного научно-исследовательского лагеря «Натуралист»	120.0
	3. Использование научно-технического потенциала высшей школы и РАН в интересах социально-экономического и инновационного развития ДВФО	390.0
	4. Исследование вулканизма и сейсмичности Камчатско-алеутского региона	54.0
	5. Субдукционные процессы Курило-Камчатско-Алеутской гряды	371.25
2004	1. Изучение геологии и опасных процессов в районе вулкана Катмаи (США)	780.0
	2. Мониторинг активных вулканов Камчатки, Аляски и Северных Курил	234.0

	3. Организация Международной полевой вулканологической школы	500.0
	4. Организация профильного научно-исследовательского лагеря «Натуралист»	120.0
2005	1. Совместные геолого-геофизические исследования взаимодействия экзогенных и эндогенных процессов для оценки уровня сейсмического и вулканического риска в тектонически активном регионе (на примере Камчатки)	100.0
	2. Традиционные знания и их значимость для сохранения биоразнообразия Камчатки	320.0
	3. Дистанционные методы мониторинга вулканической опасности	107.6
	4. Создание и наполнение базы данных по вулканам Камчатки и Аляски	241.8
	5. Субдукционные процессы Курило-Камчатско-Алеутской гряды	780.0
	6. Активный геофизический мониторинг литосферы Земли	780.0
	7. Организация Международной полевой вулканологической школы	500.0
	8. Организация профильного научно-исследовательского лагеря «Натуралист»	120.0
	9. Организация Международной полевой биологической школы-экспедиции «Биотерра»	150.0
	10. Федерально-региональное сотрудничество в области интеграции науки и образования	300.0
	11. Мероприятия по вовлечению молодых специалистов и студентов в научно-прикладные исследования	20.0
	12. Организация некурортного грязелечения в лечебных учреждениях г. Петропавловска-Камчатского	90.0
	13. Инновационное развитие г. Петропавловска-Камчатского	700.0
	14. Разработка и внедрение комплексной модели международного профильного научно-исследовательского полигона на базе уникальных научных и природных объектов Камчатки как формы вовлечения молодежи в научно-исследовательскую деятельность	
2006	1. Интеграция науки и образования	10697.0
	2. Принципы выявления, идентификации и оценки рекреационных ресурсов Камчатки	48.0
	3. Традиционные знания и их значимость для сохранения биоразнообразия Камчатки	260.8
	4. Проблемы безопасности воздушных сообщений в районах повышенной вулканической активности	146.9
	5. Организация Международного профильного научно-исследовательского лагеря «ЭкоБиоСфера»	142.5
	6. Организация Международной полевой вулканологической школы	500.0

	логической школы	
	7. Субдукционные процессы Курило-Камчатско-Алеутской гряды	1811.8
	8. Организация профильного научно-исследовательского лагеря «Натуралист»	101.3
	9. Мероприятия по вовлечению молодых специалистов и студентов в научно-прикладные исследования	69.0
	10. Организация некурортного грязелечения в лечебных учреждениях г. Петропавловска-Камчатского	90.0
	11. Организация Международной полевой биологической школы-экспедиции "Биотерра"	115.0
	12. Разработка и внедрение комплексной модели международного профильного научно-исследовательского полигона на базе уникальных научных и природных объектов Камчатки как формы вовлечения молодежи в научно-исследовательскую деятельность	
2007	1. Геодинамическая модель взаимодействия Евразийской, Североамериканской и Тихоокеанской литосферных плит на Северо-Востоке Азии	60.0
	2. Геотермальные месторождения поперечных геоструктурных зон Камчатки	125.0
	3. Деятельность вулканов в современную эпоху: комплексный мониторинг, механизм извержений и геохимия изверженных продуктов, взаимосвязь с геодинамикой региона и климатическими изменениями, воздействие на природную среду, оценка вулcano- и цунамиопасности	500.0
	4. Изотопная геохимия и геохронология крупных и гигантских золотых и золотосеребряных месторождений Востока Азии	50.0
	5. Интеграция образования и науки в области геологии и геофизики	5127.1
	6. Меловой мантийный магматизм Восточной Камчатки	120.0
	7. Подводный вулканизм Курильской островной дуги	130
	8. Совместные геолого-геофизические исследования взаимодействия экзогенных и эндогенных процессов для оценки уровня сейсмического и вулканического риска в тектонически активном регионе (на примере Камчатки)	200.0
	9. Традиционные знания и их значимость для сохранения биоразнообразия Камчатки	183.1
	10. Организация Международной полевой вулканологической школы	175.0
	11. Организация Международной полевой биологической школы-экспедиции "Биотерра"	142.4
	12. Организация профильного научно-исследовательского лагеря «Натуралист»	120.0

13. Организация Международного профильного научно-исследовательского лагеря «ЭкоБиоСфера»	159.0
14. Создание некурортного грязелечения на основе активирования лечебной грязи и получение пеллоидных препаратов	54.3
15. Мероприятия по вовлечению молодых специалистов и студентов в научно-прикладные исследования	54.0
16. Разработка и внедрение комплексной модели международного профильного научно-исследовательского полигона на базе уникальных научных и природных объектов Камчатки как формы вовлечения молодежи в научно-исследовательскую деятельность	3850.2
17. Подготовка и издание методических материалов для высшего образования	13,9

Количество проектов, реализованных в интегративных подразделениях КамГУ им. Витуса Беринга, с 2003 года увеличилось в три раза, финансирование в 8 раз; проекты имеют важное значение для развития не только Камчатского края, но и всего Азиатско-Тихоокеанского региона. Для выполнения проектов привлекаются ведущие ученые Камчатки, зарубежные исследователи, перспективные молодые кадры.

Работа по проектам в приоритетных для края направлениях позволит поднять экономику региона, привлечь инвестиции в развитие вулканологии, геологии, сейсмологии и промышленности на Камчатке.

Студенты-соисполнители

ГОД	КОЛИЧЕСТВО
2003	48
2004	55
2005	156
2006	160
2007	452

Развитие мат. базы

ГОД	Всего на сумму, тыс.руб.	Из них машин и оборудования, тыс.руб.
2003	2927.0	2068.0
2004	3603.0	2522.1
2005	3753.4	2062.9
2006	4663.0	3027.0
2007	6751.4	4587.2

Совместители из учреждений РАН

ГОД	КОЛИЧЕСТВО
2003	59
2004	37
2005	40
2006	71
2007	82

Показатели результативности НИР интегративных подразделений

Кроме моделей интеграции в рамках КРАУНЦ разработаны различные модели объединения, которые формируются на основе функционально обоснованных схем взаимодействия различных структур организаций-членов КРАУНЦ. Примером такой модели может служить схема взаимодействия аспирантур, позволяющая обеспечить региональную систему послевузовской подготовки.

Эта схема предполагает максимальную согласованность действий по открытию новых научных специальностей, опирающуюся на совместно разработанную и утвержденную Координационным советом региональную программу подготовки научно-педагогических кадров и план развития послевузовского образования в крае.

Подобная объединительная схема работает и в области организации научных исследований, кроме тех НИР, которые проводятся в интегративных научных подразделениях.

Сегодня уже очевидно, что создание регионального учебно-научного центра позволяет, во-первых, обеспечить использование всех научно-образовательных ресурсов региона в решении научно-исследовательских задач и, следовательно, повысить эффективность фундаментальных и прикладных исследований; во-вторых, создает реальные возможности для привлечения научного потенциала региона к решению важнейших задач социально-экономического развития края, в-третьих, способствует формированию единого, способного к развитию и воспроизводству, научного сообщества региона с системой разноплановых горизонтальных и вертикальных связей.

Единое научное сообщество, сегментами которого являются региональные научные объединения по направлениям, аккумулируя все научные силы региона для проведения фундаментальных и прикладных исследований, выступает и как определенная интеллектуальная среда для начинающего исследователя-студента, мотивирующая его к научной деятельности и формирующая его как будущего ученого. Разработка механизмов включения студента в это сообщество является главным условием эффективности системы подготовки научно-педагогических кадров в регионе.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ГИДРОГЕОХИМИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ НА КАМЧАТКЕ, ПРОВОДЯЩИХСЯ С ЦЕЛЬЮ ИЗУЧЕНИЯ РЕАКЦИИ ПОДЗЕМНЫХ ВОДНО-ГАЗОВЫХ СИСТЕМ НА ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ

Хаткевич Ю.М., Кузьмин Ю.Д., Рябинин Г.В.

*Камчатский филиал Учреждения Российской академии наук Геофизической службы РАН,
г. Петропавловск-Камчатский; e-mail: khat@emsd.iks.ru, kuzy@emsd.iks.ru,
gena@emsd.iks.ru*

Целенаправленные систематические наблюдения за режимом подземных вод на Камчатке в связи с поиском гидрогеологических предвестников землетрясений были начаты в 1977 г. Лабораторией гидрогеологии и геотермии Института вулканологии ДВНЦ АН СССР под руководством В.М. Сугробова. В 1979 г. наблюдения были переданы Камчатской опытно-методической сейсмологической партии ИВ ДВО АН СССР (в настоящее время – Камчатский филиал Геофизической службы РАН), где и проводятся в настоящее время Лабораторией гидросейсмологии под руководством Ю.М. Хаткевича. В самом начале исследований режимная сеть состояла из нескольких слаботермальных источников (Пиначевские источники) и расположенной неподалеку скважины ГК-1. Постановка исследований именно в этом районе обязана тому факту, что в 1971 г. сотрудникам режимной гидрогеологической партии ПГО «Камчатгеология» удалось обнаружить очень мощную постсейсмическую реакцию расхода источников на сильное Камчатское землетрясение 24.11.1971 ($M_{\text{ЛН}} = 7.2$, $\Delta = 100$ км). Столь высокая чувствительность источников к сейсмическим событиям вселила надежду на столь же высокую их чувствительность и к процессам подготовки землетрясений. В настоящий момент режимная сеть включает в себя четыре гидрогеологические станции и три пункта газодинамических наблюдений (рисунок).

Характеристика сети гидрогеологических станций и методики наблюдений

Станция «Пиначево» расположена в среднем течении р. Пиначевой, примерно в 35 км к северу от г. Петропавловска-Камчатского. Станция включает в себя 5 наблюдательных водопунктов (четыре слаботермальных источника и одну скважину ГК-1, глубиной 1261 м). Непрерывные наблюдения на скважине и источниках были начаты в 1977 г.

Станция «Морозная» расположена на правом берегу р. Половинки, в 6 км от г. Елизово, недалеко от горнолыжной базы «Гора Морозная». Наблюдения на станции проводятся с 1986 г., в настоящий момент, на скважине №1 глубиной 600 м.

Станция «Хлебозавод» расположена в центре г. Петропавловска – Камчатского и состоит из одной скважины Г-1 глубиной 2542 м. Непрерывные наблюдения на скважине были начаты в 1988 г.

Станция «Верхняя Паратунка» расположена в 14 км к юго-западу от пос. Термальный и в 40 км к западу от г. Петропавловска – Камчатского, в долине р. Карымшина, в пределах Верхнее Паратунского месторождения термальных вод. В настоящий момент станция включает в себя четыре самоизливающихся скважины: ГК-5 (глубина 900 м), №44 (650 м), ГК-15 (1208 м) и ГК-17 (1196 м). Скважины ГК-5, №44 и ГК-15 включены в режимную сеть в 1988 г., а скважина ГК-17 – в 2001 г.

Наблюдения за режимом подземных вод осуществляются с периодичностью 1 раз в 3 суток для станций Пиначево, Морозная, Хлебозавод и 1 раз в 6 дней для скважин, расположенных на станции Верхняя Паратунка. Режимные наблюдения включают в себя измерения величин атмосферного давления и температуры воздуха, измерения расходов и температур воды скважин и источников, отбор проб воды и газа для последующего их анализа в лабораторных условиях. В пробах воды определяются рН (отрицательный

логарифм концентрации ионов водорода (H^+), концентрации ионов хлора (Cl^-), гидрокарбоната (HCO_3^-), сульфата (SO_4^{2-}), натрия (Na^+), калия (K^+), кальция (Ca^{2+}), магния (Mg^{2+}), концентрации борной (H_3BO_3) и кремневой (H_4SiO_4) кислот. В пробах газа определяются метан (CH_4), азот (N_2), кислород (O_2), углекислый газ (CO_2), аргон (Ar), гелий (He), водород (H_2), углеводородные газы: этан (C_2H_6), этилен (C_2H_4), пропан (C_3H_8), пропилен (C_3H_6), бутан (C_4H_{10n}) и изобутан (C_4H_{10i}).

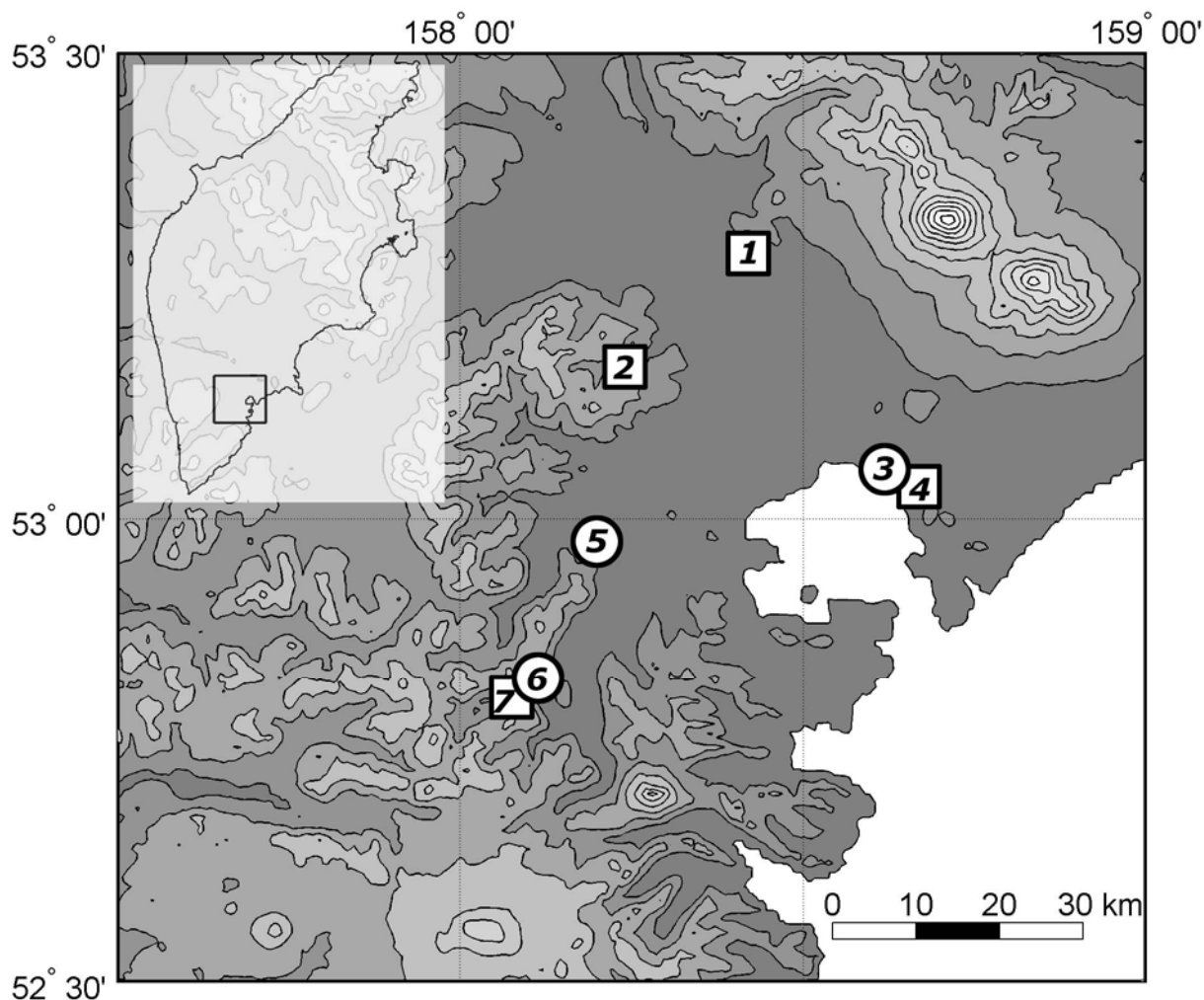


Схема расположения гидрогеологических станций (квадратики) и пунктов газодинамических наблюдений (кружки): 1 – станция «Пиначево», 2 – станция «Морозная», 3 – пункт «Петропавловск», 4 – станция «Хлебозавод», 5 – пункт «Микижа», 6 – пункт «Карымшина», 7 – станция «Верхняя Паратунка». В левом верхнем углу на врезке показано местоположение района исследований.

Дебит источников и самоизливающихся скважин определяется объёмным способом с использованием емкостей размером от 2 до 20 л в зависимости от расхода воды. Атмосферное давление фиксируется с помощью барографов М-22Н и показывающих барометров-анероидов (с 2008 г. – цифровой метеостанцией Skywatch GEOS №11). Температура воды и воздуха измеряется ртутными и электронными термометрами. Химический состав воды и газа определяется в лабораторных условиях на базе Центральной химической лаборатории Института вулканологии ДВО РАН.

рН водных пробах определяется потенциометрическим методом с использованием универсального иономера ЭВ-74. Концентрации ионов Cl^- , SO_4^{2-} , Ca^{2+} , Mg^{2+} определяются объёмными титриметрическими методами. Концентрации катионов Na^+ , K^+ – пламенно-фотометрическим методом на пламенном фотометре FLAPHO-4. Ион HCO_3^- – методом потенциометрического титрования на иономере ЭВ-74. Содержание в пробе борной

кислоты H_3BO_3 определяется методом объемного рН-метрического титрования на иономере ЭВ-74. Определение содержания кремниевой кислоты H_4SiO_4 производится калориметрическим методом с использованием фотокалориметра КФК – 3. Определение содержаний растворенных в воде газов осуществляется газохроматографическим методом на газовых хроматографах ЛХМ-8МД и Газохром 3101 с использованием термовакuumного способа дегазации пробы.

Результаты режимных наблюдений и химических анализов проб воды и газа заносятся в базу данных для последующей их обработки.

Характеристика сети газодинамических пунктов и методики наблюдений

Сеть газодинамических наблюдений включает в себя три пункта.

Пункт «Карымшина» расположен на территории одноименного пункта комплексных наблюдений КФ ГС РАН, находящегося в нижнем течении р. Карымшина, в пределах Верхнепаратунского месторождения термальных вод. Комплекс наблюдений включает в себя: измерения содержаний подпочвенного водорода (H_2) радона (Rn) и торона (Tn) в скважине глубиной 4 м; измерения содержаний водорода, радона и торона, растворенных в термальной воде, поступающей из скважины К-88 глубиной 815 м; измерения величины теллурического потенциала между центральным свинцовым электродом и обсадными трубами недалеко расположенных скважин; измерения интенсивности потока тепловых нейтронов в приземном слое атмосферы (имп./мин); измерения термодинамических параметров (температуры и давления) потока термальной воды, изливающейся из скважины К-88. Наблюдения за изменениями величин подпочвенного и растворенного в потоке термальной воды водорода проводятся с помощью анализатора водорода, разработанного В.М. Лупатовым (ГЕОХИ). Измерения содержаний подпочвенного и растворенного в потоке термальной воды радона и торона проводятся с помощью автоматизированных радиометров РРА-03, серийно выпускаемых МТМ «Защита» МИФИ. Измерения межскважинных теллурических потенциалов осуществляются с помощью логгера «ДАТАМАРК». Измерения интенсивности потока тепловых нейтронов проводятся с помощью нейтронного детектора «Дон-2» разработки НИИЯФ МГУ. Данные по содержанию подпочвенного и растворенного водорода, теллурического потенциала, интенсивности потока нейтронов передаются в г. Петропавловск-Камчатский по радиотелеметрическому каналу с интервалом в 1 минуту. Данные по содержанию радона и торона записываются на твердотельную память радиометров с интервалом в 30 минут. Непрерывные наблюдения на пункте Карымшина начаты в 2002 г.

Пункт «Микижа» расположен в 26 км к западу от г. Петропавловска-Камчатского. Экспериментальные работы по изучению взаимосвязи между геоакустической эмиссией, атмосферным электрическим полем, содержанием радона и водорода в подпочвенном и приземном слое воздуха проводятся КФ ГС РАН совместно с ИКИР ДВО РАН. Комплекс наблюдений включает в себя: измерения содержаний подпочвенного водорода в закрытом шурфе глубиной 2 м; измерения содержаний приземного радона и торона в измерительной камере автоматизированного радиометра, расположенного на высоте 1.5 м от поверхности земли; измерения температуры, влажности и давления воздушной пробы в климатической камере радиометра. Измерения содержаний водорода проводятся с помощью анализатора, аналогичного анализатору водорода на ПКН «Карымшина». Измерения радона, торона и климатических параметров анализируемой воздушной пробы на данном пункте осуществляются с помощью серийно выпускаемого радиометра РРА-03-01. (МТМ «Защита» МИФИ). Результаты измерений записываются на твердотельную память радиометра. Непрерывные наблюдения на данном пункте начаты в 2006 г.

Пункт «Петропавловск» находится в г. Петропавловске – Камчатском, недалеко от здания Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН в подвальном помещении. На данном пункте, в настоящее время, проводятся измерения радона, торона и климатических

параметров воздушной пробы на глубине 3 м. Измерения проводятся с помощью автоматизированной сейсморадоновой станции (СРС-1) разработки МТМ «Защита» МИФИ. Непрерывные наблюдения на пункте «Петропавловск» начаты в 2006 г.

С момента начала исследований накоплен уникальный фактический материал по наблюдению за целым комплексом гидро-газохимических показателей. Получены надежные данные о реакции подземных водно-газовых систем на процессы подготовки и реализации сильных землетрясений Камчатки. Обнаружены эффекты синхронного поведения измеряемых показателей в пространственно разнесенных пунктах. Данные гидро-газохимических наблюдений используются для оперативной оценки сейсмической опасности для г. Петропавловска-Камчатского и его окрестностей.

РАЗРАБОТКА МОДЕЛЕЙ ПОДГОТОВКИ СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ И ВУЛКАНИЧЕСКИХ ИЗВЕРЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ ИЗУЧЕНИЯ ИХ СВЯЗИ С КОСМИЧЕСКИМИ РИТМАМИ

Широков В.А.

*Камчатский филиал Геофизической службы РАН, Петропавловск-Камчатский,
e-mail: shirokov@kscnet.ru*

О моделях подготовки тектонических землетрясений

К числу наиболее разработанных моделей относятся дилатантно-диффузионная, лавинно-неустойчивого трещинообразования, неустойчивого скольжения и фазовых превращений, активной иерархически структурированной геофизической среды, самоорганизованной критичности, консолидации. Их обзор и критический анализ представлен в монографии И.П. Добровольского (1991), автора модели консолидации, в соответствии с которой наиболее контрастные и интенсивные динамические процессы происходят в фазе разрушения на заключительной стадии краткосрочной подготовки землетрясений. Ее длительность составляет примерно несколько недель, иногда месяцев или дней. Изучение отклика геофизической среды на этой стадии сейсмотектонического процесса позволяет оценить прогностическую эффективность аномалий, осуществить их диагностику, решать вопросы генезиса. Однако анализ данных по предвестниковым явлениям часто приводит к неоднозначности интерпретации получаемых результатов при использовании существующих моделей подготовки сильных землетрясений.

Считается, что до сих пор не ясны причины, приводящие к возникновению сильных тектонических землетрясений. Например, по мнению Н.В. Шебалина, в связи с отсутствием адекватной физической модели их подготовки надежное предсказание землетрясений невозможно (Шебалин, 1997). Можно провести аналогию между разрывом при землетрясении и разрушением образца горной породы. Если образец положить под пресс и увеличивать нагрузку, он, в конце концов, разрушится. Но реальные величины разрушающих напряжений в литосфере значительно меньше тех, которые, согласно расчетам, требуются для возникновения разрыва пород при землетрясении.

До сих пор не ясны причины возникновения землетрясений с глубиной очагов более 200 км. На этих глубинах для возникновения подвижки даже по уже готовому разлому требуются гигантские напряжения. Но имеющиеся оценки свидетельствуют о том, что напряжения в мантии весьма умеренные (Родкин, 2008). Многие считают привлекательной выдвинутую в 1987 г. идею развития в среде самоорганизованной критичности (СОК-гипотеза), обсуждавшуюся в работе (Добровольский, 1991). Предполагается, что сложные геодинамические системы, в частности, земная кора, самопроизвольно эволюционируют в направлении критического состояния с сильным взаимодействием соседних элементов (Родкин, 2008). В таком состоянии в системе могут развиваться события самого разного масштаба, в том числе предельной силы. Каждое отдельное движение при этом непредсказуемо, но статистически можно оценить среднюю вероятность их появления. Модель землетрясения как критического явления может считаться полезной для понимания многих предвестниковых процессов, но из этой же модели вытекает случайность и непредсказуемость землетрясений. Перспективы улучшения ранее разработанных моделей подготовки сильных событий в последние годы не обсуждались. В результате сейсмология XXI века оказалась на развилке нескольких дорог, ведущих, как считают многие ученые, в направлениях с невыясненными перспективами. Часто говорят о необходимости смены парадигмы при решении проблем геодинамики и прогноза землетрясений.

По нашему мнению, основной недостаток существующих моделей связан с тем, что в них не учитывается важное влияние на современные тектонические процессы

общепланетарных космических воздействий (Широков, 2001). Во всяком случае, в известных нам моделях подготовки землетрясений космические факторы не относятся к основополагающим.

Вопрос о том, в какой степени космические ритмы разного происхождения ответственны за возникновение тектонических землетрясений и извержений вулканов является одним из наиболее важных в науках о Земле. Хотя эта проблема является дискуссионной, однако, понятно, что перестройка глобальных и региональных тектонических напряжений должна зависеть от воздействия космических факторов. Один из первых обзоров исследований, касающихся роли космических факторов в геотектонике, приведен в работе (Кропоткин, 1970). В ней сделан вывод о том, что современные тектонические процессы являются результатом действия двух факторов – внутренней эволюции Земли как планеты и космических воздействий. Однако, как отмечалось выше, и в наиболее разработанных, и в других моделях подготовки землетрясений внутриземные процессы исследуются вне их взаимосвязи с космическими воздействиями.

Наши представления о связи космических факторов с тектоническими землетрясениями и извержениями вулканов с учетом промежуточных звеньев этой взаимосвязи в схематическом виде были представлены впервые в работе (Широков, 1977), основанной на обзоре работ многих исследователей. Сделан вывод, что в интервале периодов менее нескольких десятилетий к числу главных факторов космического происхождения относятся электромагнитное и корпускулярное излучение Солнца, а также электромагнитные и гравитационные поля в системе Солнца-Луна-Земля (рис. 1). На этом рис. показано, что поле упругих напряжений Земли является функцией многих переменных, каждая из которых сложным образом меняется во времени. В общем виде задача изучения влияния космических факторов на сейсмические и вулканические процессы едва ли может быть решена, однако, на практике зачастую достаточно ограничиться изучением отклика среды на частотах, которые являются главными составляющими космических воздействий.

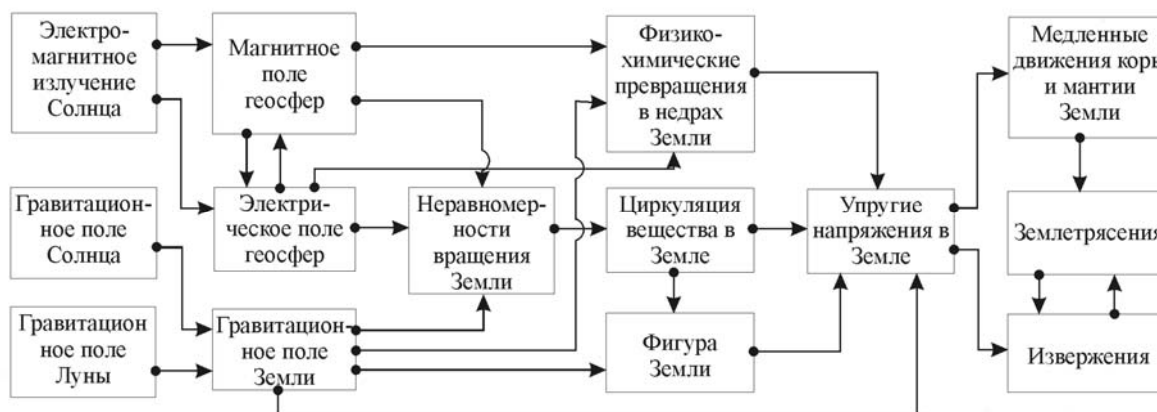


Рис. 1. Схема влияния космических факторов на возникновение сильных землетрясений и извержений вулканов с учётом промежуточных звеньев, связывающих эти явления.

Наибольший интерес представляет изучение циклических, периодических и квазипериодических ритмов, связанных с солнечной активностью, лунно-солнечными приливами и изменением положения оси вращения Земли относительно звезд: солнечные сутки, 27-суточный ритм, связанный с вращением «активных» широт Солнца вокруг своей оси, земной год, 14-месячный чандлеровский период изменений размаха колебаний полюсов, приливные ритмы с периодами около одних суток, 29.5 суток, 18.6 года, а также 11-летняя, 22-летняя и вековая цикличность солнечной активности.

На наш взгляд, перспективной является концепция, в соответствии с которой Землю следует рассматривать как единую нелинейную самоорганизующуюся колебательную систему, порождающую в определенные интервалы времени интенсивные, мозаично распределенные глобальные тектонические напряжения, являющиеся следствием влияния на сеймотектонические и вулканические процессы общепланетарных космических факторов и зависящих от них региональных и глобальных процессов взаимодействия тектонических плит. В рамках этого подхода нами предложена планетарно-региональная модель подготовки тектонических землетрясений (Широков, 2001). Основой модели является тезис о том, что краткосрочная фаза подготовки любого сильного землетрясения (например, с магнитудой $M = 7.5$ и более) существенным образом зависит от космических воздействий общепланетарного масштаба, т.е. в подготовке сильных землетрясений всегда присутствует планетарная составляющая. Зависит от космических причин, как будет показано далее, и долгосрочная подготовка землетрясений.

На возможность использования космических ритмов для прогноза землетрясений и извержений вулканов указывалось во многих работах еще в 50-80-ые годы (Абдурахманов и др., 1971, 1976; Гущенко, 1985; Ламакин, 1966; Леонов, 1979; Пийп, 1956; Сытинский, 1963, 1982, 1989; Широков, 1973, 1977, 1978, 1980, 1985; Hamilton, 1973 и др.). На основе сопоставления космических ритмов с сейсмическими и вулканическими явлениями автором был дан первый успешный среднесрочный прогноз камчатского землетрясения с $M = 7.5$ в феврале 1973 г. и побочного извержения Ключевского вулкана в 1974 г. (Широков, 1973). Нами прогнозы подразделяются на долгосрочные (время упреждения T превышает один год), среднесрочные (T менее одного года), краткосрочные (T менее месяца) и оперативные (T не превышает одной недели).

В дальнейшем на основе использования космических ритмов был разработан алгоритм М6 (Широков, 2001), с помощью которого с 1995 по 2008 гг. в реальном времени сделано 22 официально зарегистрированных краткосрочных прогноза времени, места, магнитуды и макросейсмической балльности камчатских землетрясений со временем упреждения менее 16 суток. Большинство прогнозов оказались успешными.

Далее приведены результаты исследований, которые указывают на определяющую роль общепланетарных космических факторов в процессе подготовки сильных землетрясений и вулканических извержений.

О роли космических ритмов в возникновении больших извержений вулканов Земли

Этот вопрос детально рассматривался нами в работах (Широков, 1980, 2007, 2008а, 2008б). Здесь кратко обозначим лишь основные результаты. Рассмотрим так называемые большие извержения с объемом изверженных вулканических продуктов $V \geq 0.8 \text{ км}^3$ (Гущенко, 1979 и др.). С 1800 г. по 2008 г. произошло 38 таких событий, из которых 17, т.е. почти половина, в историческое время наблюдались впервые. Таким образом, многие активные и потенциально активные вулканы переходят в состояние многовекового покоя, которое затем заканчивается крупным извержением. Статистика событий до 1800 г. является менее представительной, так как за 300-летний период 1500-1799 гг. отмечено только 21 извержение, более половины которых наблюдались в Индонезии и Исландии. Суммарный объем 38 извержений 1800-2008 гг. составляет ориентировочно 320 км^3 . Из них 33 наблюдались в Тихоокеанском вулканическом поясе, одно на Гавайских островах и четыре в Исландии. Наиболее масштабными были извержения вулканов Тамбора (Индонезия, 1812 г., $V = 150 \text{ км}^3$), Косегвина (Никарагуа, 1835 г., $V = 50 \text{ км}^3$) и Кракатау (Индонезия, 1883 г., $V = 18 \text{ км}^3$). Для извержений в качестве временного репера выбирается дата главного пароксизма или начало извержения. Рассмотрим теперь космические факторы, оказывающие значимое влияние на большие извержения вулканов Земли.

Фактор первый: вековое перемещение географических полюсов. Если из перемещений северного полюса (движения южного аналогичны) отфильтровать близкие к круговым или эллиптическим траекториям годовую и 14-месячную чандлеровскую составляющие, то останется нерегулярная апериодическая компонента, именуемая вековым ходом полюса. Траектория векового хода рассчитывается относительно эпохи 1900 г. (время начала работы Международной службы определения широт) по данным, рассчитанным для середины каждого года на основе 20 отсчетов в год (Котляр, Ким, 1994). Векторы смещений от года к году и определяют траекторию векового хода полюса. Обнаружено, что из 21 извержения прошлого века с $V \geq 1.0 \text{ км}^3$ 19 произошли в те периоды, когда генеральное направление векового хода полюса соответствовало диапазону его перемещений вдоль меридианов от 70 до 180 градусов западной долготы (Широков, 2007, 2008а). В этом диапазоне направлений полюс перемещался примерно 58% времени. Неслучайность связи направлений перемещений полюса с моментами возникновения больших извержений значима с уровнем доверия более 0.95 (Большев, Смирнов, 1965).

Фактор второй: вариации свободных 14-месячных чандлеровских колебаний полюса. На основании сопоставления моментов возникновения больших вулканических извержений с $V \geq 1 \text{ км}^3$ с графиком изменения среднегодовых значений радиусов 14-месячных чандлеровских колебаний (радиусов полюдий) относительно среднего положения полюса обнаружено, что вероятность возникновения извержений тем больше, чем выше максимальные и средние значения амплитуд радиусов полюдий и чем устойчивее форма квазипериодических вариаций, имеющих средний период 6.2 года (рис. 2). Ключевые особенности графика определяют неравномерность извержений во времени, их группируемость (рис. 2). Например, после 1900 г. первый минимум активности вулканов (1915–1947 гг., 2 извержения за 33 года) приурочен к самым низким в прошлом веке амплитудам радиусов полюдий, причем сами вариации носили нерегулярный, почти апериодический характер. Наоборот, в начале прошлого века на интервале длительностью 11.6 г. (май 1902–январь 1914 гг.) произошло 7 извержений, т.е. частота извержений в единицу времени была на порядок больше, чем в 1915–1947 гг. В 1902–1913 гг. межгодовые колебания полюса имели устойчивую форму, причем в 1910 г. был зарегистрирован второй по величине за последние 107 лет максимум размаха колебаний полюса (Широков, 2008а). Второй пик активности больших извержений (1947–1956 гг.) аналогичен первому.

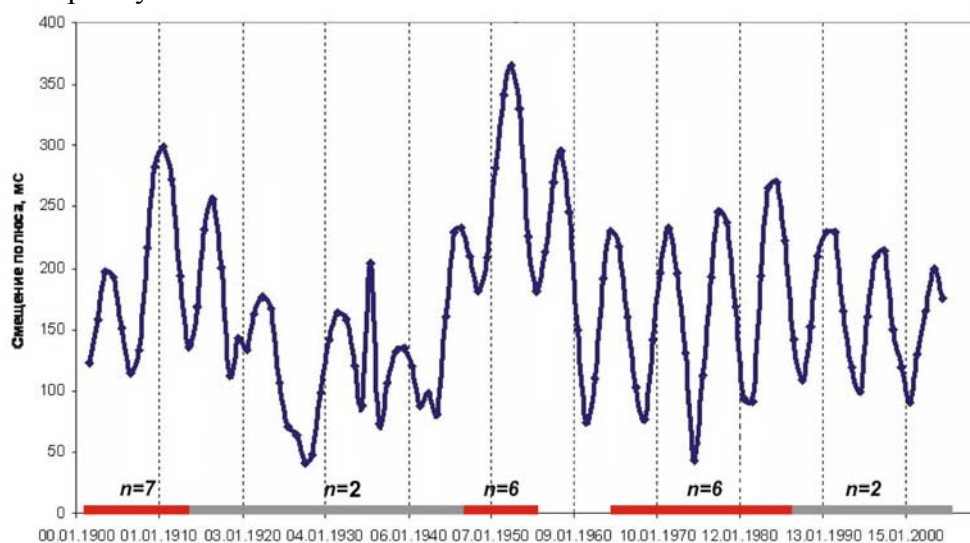


Рис. 2. Вариации среднегодовых амплитуд (радиусов полюдий) 14-месячной составляющей чандлеровских колебаний географических полюсов с 1900 г. Числа над темными и светлыми полосками на оси ординат соответствуют числу попавших внутрь полосок извержений с объемом вулканических продуктов $V \geq 1 \text{ км}^3$.

Детальный анализ связи выявленного ритма со средним периодом 6.2 г. с большими извержениями и предваряющими их сильнейшими землетрясениями позволил получить статистически значимые результаты о связи этого ритма с квазипериодическими вертикальными перемещениями вещества земных недр вглубь Земли (в первой половине ритма) и к ее поверхности (во второй половине ритма). Этот процесс циклического перемещения вещества земных недр наиболее выражен в зонах субдукции Тихоокеанского тектонического пояса и является причиной возбуждения чандлеровских колебаний полюса (Широков, 2007). Предложенная нами модель возбуждения чандлеровских колебаний полюсов далее не рассматривается, так как этот вопрос выходит за рамки данной работы. Отметим, что ритм 6.2 г. связан с лунным приливом 18.6 г. так как три периода по 6.2 г. равны 18.6 г.

Фактор третий: 11-летняя и 22-летняя цикличность солнечной активности. Во многих работах выявлена связь землетрясений и извержений вулканов с 11-летней цикличностью солнечной активности (Абдурахманов и др., 1971, 1976; Серафимова, 2006; Сытинский, 1982, 1989; Широков, 1973 и др.). Однако неожиданно оказалось, что в геодинамических процессах 22-летняя цикличность играет более важную роль, чем 11-летняя (Широков, Серафимова, 2006, 2007, 2008). Далее основное внимание обращается на 22-летний цикл.

Фактор четвертый: флуктуации чисел Вольфа в 22-летних солнечных циклах. Вариации чисел Вольфа относительно среднемесячных значений принято именовать флуктуациями, если они превышают два среднеквадратических отклонения (Витинский, 1973). Показано, что суммарная длительность флуктуаций значимо различается в четных и нечетных 11-летних циклах солнечной активности. Сравнение значений флуктуационных индексов, рассчитанных для каждого 11-летнего цикла, с суммарными величинами объемов V изверженных вулканических продуктов в этих циклах показало их значимую корреляцию. Однако наиболее важный результат заключается в том, что по данным 38 больших извержений 1800-2008 гг. в четных 11-летних циклах выделилось 95.5% от общего объема (320 км^3) изверженных продуктов, хотя по длительности четные и нечетные циклы в среднем равны. Наличие значимой связи флуктуационных индексов чисел Вольфа с продуктивностью вулканов указывает на наличие отчетливо выраженной 22-летней цикличности вулканической активности. Сделаем пояснения. Первые предположения о существовании 22-летнего цикла в пятнообразовательной деятельности Солнца были сделаны в конце XIX века Вольфом, но лишь после открытия в 1913 г. Хейлом закона изменения полярности магнитных характеристик Солнца реальность выделения этого цикла получила надежное физическое обоснование (Витинский, 1973). По данным измерений Хейла при переходе от любого 11-летнего цикла к следующему полярность ведущих групп солнечных пятен в каждом из полушарий Солнца меняет знак на противоположный, причем полярность в разных полушариях имеет разный знак. В связи с этим цикл Хейла чаще именуется магнитным. Длительность циклов Хейла характеризуется большей устойчивостью, если за их начало брать эпохи минимумов четных 11-летних циклов, что и сделано в данной работе. За последние 300 лет среднее значение длительности циклов Хейла составляет 21.8 г. С начала прошлого века цикл характеризуется наибольшей устойчивостью, так как отклонения длительности циклов от среднего за этот период значения (21.3 г.) не превышают 3.5%.

Фактор пятый: лунный прилив с периодом 18.6 года. Вопрос о связи сильных извержений вулканов Тихоокеанского пояса, а также извержений вулканов Камчатки с лунным приливом 18.6 года рассматривался нами детально в работах (Широков, 1977, 1978). Для этих двух выборок обнаружена статистически значимая приуроченность событий к двум непересекающимся «активным» фазам землетрясений и извержений, причем «активные» фазы землетрясений опережают «активные» фазы извержений в среднем на 3 года. Выявленные закономерности успешно использовались для

долгосрочного прогноза сильных событий (Гусев, Петухин, 1997; Широков, 1977, 1978, 2001 и др.).

Фактор шестой: многолетние (56-летний и 223-летний) космические ритмы. Обнаружены статистически значимые ритмы с указанными выше периодами, проявляющиеся для землетрясений (Гусев, Петухин, 1997) и для больших извержений вулканов Земли (Широков, 2008б). Первый цикл является утроенным значением лунного прилива 18.6 г., а второй равен 12 периодам этого прилива. 223-летний цикл одновременно равен десяти солнечным циклам Хейла. Это означает, что примерно каждые 223 года фазы 18.6-летнего и 22-летнего циклов становятся одинаковыми (Широков, 2008б). Согласно нашим расчетам, 56-летний ритм отчетливо проявляется не только для землетрясений, но и для больших извержений. Например, все 5 камчатских извержений за последние 200 лет с объемом изверженных продуктов $V \geq 1 \text{ км}^3$ (1854, 1907, 1956, 1964, 1975 гг.) лежат в узком диапазоне фаз 56-летнего ритма, занимающем примерно третью часть приливного цикла. Нетрудно подсчитать, что очередное большое извержение на Камчатке можно ожидать в период 2012-2031 гг. Однако, согласно нашему долгосрочному прогнозу вулканические извержения Камчатки с $V \geq 0.3 \text{ км}^3$ ни в текущем, ни в следующем 22-летнем цикле Хейла, т.е. примерно до 2052 г., не ожидаются (Широков, 2008; Широков, Серафимова, 2008). Этот прогноз является более эффективным, так как основан на совместном анализе двух космических ритмов. Поэтому вероятность больших извержений в 2012-2031 гг. практически равна нулю. Тем не менее, 56-летняя цикличность для вулканических извержений статистически значима. «Опасная активная фаза» 223-летнего цикла для больших извержений вулканов Земли начинается примерно в 2030 г., поэтому можно допустить, что очередное большое извержение на Камчатке может произойти в период 2068-2087 гг. (2012 г. + 56 лет = 2068 г.; 2031 г. + 56 лет = 2087 г.).

Использование космических ритмов для решения задач прогноза сильных событий

Прогноз времени и географической широты места больших извержений вулканов Земли на ближайшие 20 лет. Эта задача была решена на основе обнаружения зависимости широты места больших извержений Земли от фазы 22-летнего цикла Хейла (Широков, 2008б). Выявленная связь служит дополнительным подтверждением общепланетарной природы подготовки сильнейших извержений вулканов Земли и их зависимости от космических ритмов. В работе (Широков, 2008б) дан прогноз больших вулканических извержений на ближайшие 20 лет. Отметим, что в работе (Пийп, 1956) впервые для пароксизмальных извержений вулкана Ключевского обнаружена цикличность с периодом 20 лет, близким к исследуемому нами ритму 22 года.

Совместное использование двух космических ритмов (лунного прилива 18.6 г. и 22-летнего цикла Хейла) для решения задач долгосрочного прогноза землетрясений и извержений. В работе (Широков, Серафимова, 2006) предложен метод фазовых траекторий, позволяющий на основе совместного использования двух указанных выше ритмов осуществлять долгосрочный прогноз сильных землетрясений в различных регионах Земли. Этот метод применен и для вулканических извержений (Широков, 2008б; Широков, Серафимова, 2008). В качестве примера приведем с использованием метода наложения эпох трехмерное распределение (рис. 3) извержений камчатских вулканов 1850 – 2007 гг. с $V \geq 0.3 \text{ км}^3$ в координатах фаза 19-летнего и фаза 22-летнего циклов (по горизонтали) и объемы извержений V (по вертикали). На горизонтальной плоскости выделяются два компактных статистически значимых кластера (рис. 3). Поскольку траектория текущего цикла Хейла, начавшегося в декабре 2007 г., не пересекает «опасные» фазовые окна (кластеры), это означает, что до конца текущего цикла Хейла (примерно 2030 г.) извержения с $V \geq 0.3 \text{ км}^3$ на Камчатке не ожидаются. На основе применения метода фазовых траекторий даны прогнозы сильных извержений для 8

регионов мира на ближайшие 20 лет и сделаны оценки их эффективности (Широков, Серафимова, 2008) .

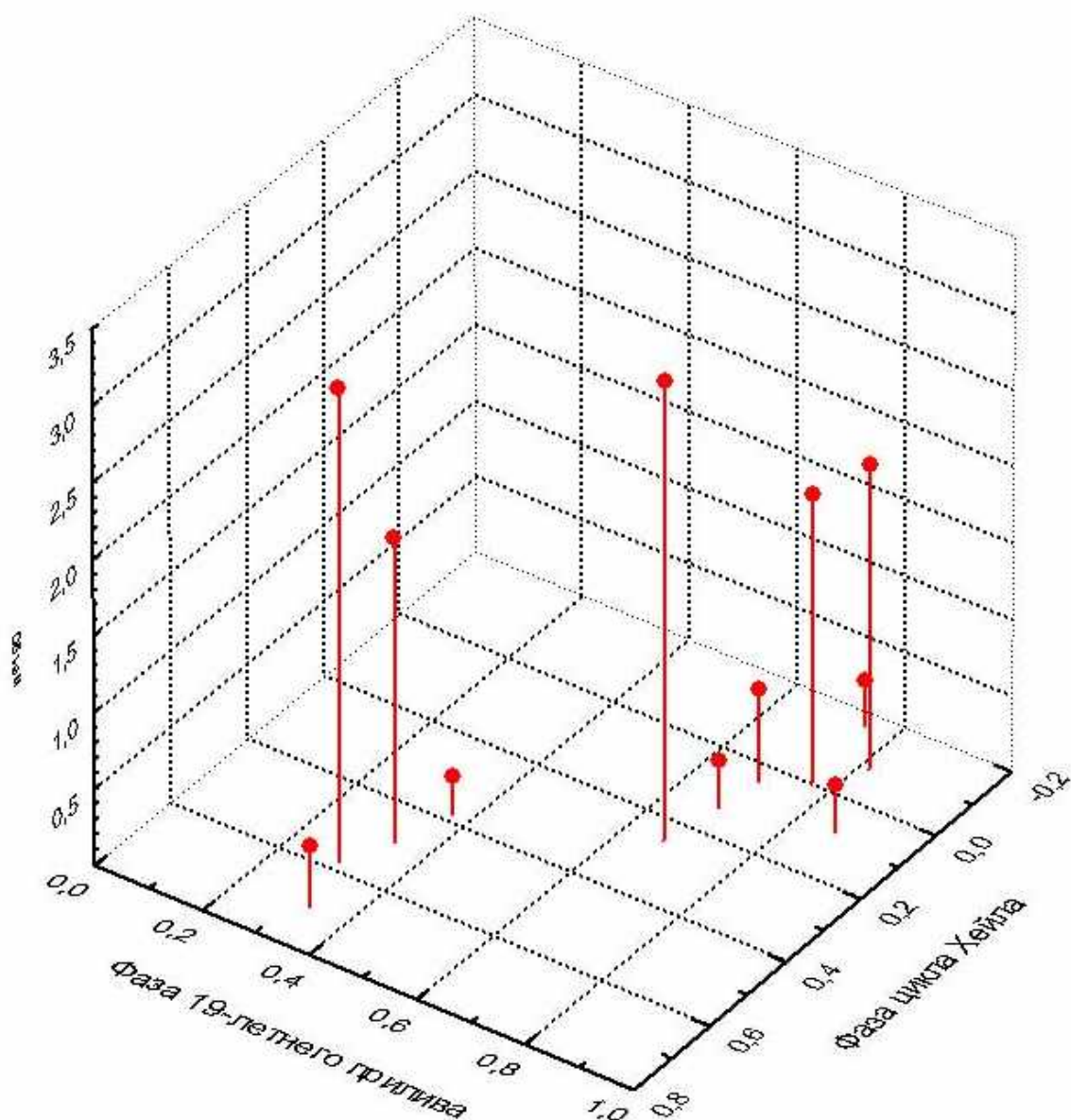


Рис. 3. Трёхмерное распределение извержений вулканов Камчатки 1854-2007 гг. с объемом изверженных продуктов $V \geq 0.3 \text{ км}^3$ в координатах: фаза 19-летнего лунного прилива, фаза 22-летнего солнечного цикла Хейла (по горизонтали) и объёмы V (по вертикали). Пояснения в тексте.

Подведем промежуточный итог. Приведенные выше результаты могут рассматриваться в качестве обоснования планетарно-региональной модели подготовки сильных вулканических извержений. В соответствии с этой моделью их подготовка, как видно из представленных выше результатов, зависит от различных по своей природе космических ритмов. В рамках этой модели сделаны долгосрочные прогнозы сильных извержений для Земли в целом и для ее отдельных регионов. Эффективность прогнозов, в определении А.А.Гусева (1974), по ретроспективным данным в несколько раз больше эффективности других известных нам методов прогноза (Широков, Серафимова, 2008).

Проблема «удаленных» предвестников при решении задач оперативного прогноза землетрясений

В соответствии с нашим подходом общепланетарные космические факторы являются причиной практически одновременной краткосрочной мозаичной перестройки полей тектонических напряжений в различных регионах Земли (Широков, 2001). В такой ситуации возникает проблема диагностики близких (в так называемой зоне подготовки будущего землетрясения) и «удаленных» краткосрочных предвестников в геофизических полях разной природы. Под «удаленными» имеются ввиду предвестники, регистрируемые на расстояниях от очагов землетрясений от 2 000 км и более, т.е. как правило, за пределами так называемой зоны подготовки сильных землетрясений (Добровольский, 1991). С другой стороны, если во многих регионах мира практически одновременно в тензочувствительных пунктах наблюдений будут выявлены предвестниковые аномалии, это может служить указанием начавшейся краткосрочной или оперативной подготовки сильного землетрясения. Такого типа удаленные («ложные» в рамках известных моделей подготовки землетрясений) краткосрочные и оперативные предвестники могут использоваться для прогноза времени готовящегося в мире сильного землетрясения, без определения, как правило, места его возникновения (если не выявлены форшоковая активизация и другие региональные или локальные предвестники в зоне подготовки землетрясения). Выявление статистически значимых эффектов подобного рода позволит глубже понять природу регистрируемых аномалий и поставит нас перед необходимостью детальной разработки адекватных моделей подготовки сильных землетрясений.

Глобальные возмущения различных геофизических полей перед сильными землетрясениями отмечались во многих регионах мира. В качестве примера можно привести аномальные сейсмогравитационные колебания (Линьков и др., 1990), многочисленные случаи аномальных вариаций кажущегося электрического сопротивления на Гармском полигоне, имеющих аналогичную форму перед близкими и удаленными землетрясениями (Сидорин, 1992 и др.). При измерении наклонов земной поверхности в Молдавии выявлено несколько десятков случаев аномальных наклонов, наблюдавшихся как перед близкими землетрясениями зоны Вранча, так и перед удаленными сильными мировыми землетрясениями (Карпатское ..., 1990).

Учитывая эффект «удаленных» предвестников и ключевую роль общепланетарных космических факторов в процессе деформирования зон подготовки сильных землетрясений (Широков, 1977, 1978, 1980), была предложена планетарно-региональная модель подготовки сильных землетрясений (Широков, 2001). В соответствии с этой моделью заключительная стадия их подготовки связана с относительно кратковременной (как правило, менее месяца) глобальной перестройкой полей тектонических напряжений для Земли в целом, вызванной влиянием космических факторов, которые рассматриваются как необходимое условие возникновения сильных землетрясений. Региональный сейсмический отклик на общепланетарные процессы является частью сейсмического отклика для Земли в целом. Это означает, что в возникновении сильных, с магнитудой примерно 7.5 и более, землетрясений всегда присутствует общепланетарная составляющая.

Основываясь на этом подходе, в работе (Широков, 2001) на примере северного фланга Курило-Камчатской зоны субдукции описана и апробирована методика краткосрочного, со временем упреждения менее двух недель, прогноза времени, места и силы землетрясений с магнитудой $M \geq 6$ по сейсмологическим данным (Широков, 2001). Анализировались как региональные (алгоритм М6), так и мировые землетрясения. Оказалось, что в 50% случаев разность во времени спрогнозированных камчатских землетрясений с $M \geq 6$ и сильных ($M \geq 7.5$) мировых землетрясений составляла менее одной недели. На основе этого подхода в 1995-2008 гг. в реальном времени было сделано 22 официально зарегистрированных краткосрочных прогноза, 12 из которых оправдались

по всем основным параметрам (время, место, магнитуда и балльность). В четырех случаях по одному из параметров ошибка прогноза не превысила 15%. Лишь в трех случаях после сделанных прогнозов землетрясений с $M \geq 5$ в регионе не было. В 16 случаях прогнозируемые камчатские землетрясения с $M = 5.4\text{--}7.1$ происходили не позже, чем через 16 суток после даты объявления времени тревоги. Так как прогнозы основывались на учете влияния космических факторов, можно считать, что их роль на заключительной стадии подготовки землетрясений является определяющей.

Камчатскими исследователями разработаны методы краткосрочного и оперативного прогноза землетрясений по данным различных видов геофизических наблюдений. По данным работ (Купцов, 2005; Руленко 2000, 2003; Руленко и др., 1992, 1996; Фирстов, Широков, 2005; Широков, Фирстов, 2004 и др.) перед камчатскими землетрясениями с $M \geq 5$ выявлены краткосрочные и оперативные предвестниковые аномалии.

В Камчатском регионе неоднократно выявлялись оперативные предвестниковые аномалии за часы–сутки до сильных землетрясений в электричестве приземного воздуха (Руленко, 2000, 2003; Руленко и др., 1992, 1996). Выявлены два типа предвестников и показано, что тензочувствительность аномалий электрического поля позволяет выявить предвестники, начиная с уровня приливных эффектов.

В работе (Широков, Руленко, 2007) разработана модифицированная методика расчета скорости Z сеймотектонического движения, по определению Ю.В. Ризниченко (1985), в которой учитывается солнечносуточная составляющая сейсмичности. При сопоставлении параметра Z с электрическим полем в приземном воздухе по наблюдениям в июне–октябре 2006 г. выявлена статистически значимая корреляция ($r = 0.65$) рассматриваемых параметров. Это служит дополнительным подтверждением влияния солнечного ритма на процессы в двух геосферных оболочках.

Приведем конкретные примеры применения в реальном времени разрабатываемого нами подхода, основанные на использовании космических ритмов. На основе разработанной методики ГЛОБАС (глобальная активизация сейсмичности) были сделаны оперативные прогнозы мировых землетрясений (без определения их местоположения) с использованием, главным образом, сейсмологических данных. 7 мая 2008 г. в 2 часа по Гринвичу автором был дан официально зарегистрированный (в Камчатском филиале Российского экспертного совета) прогноз возникновения в течение двух ближайших суток землетрясения с $M \geq 7.2$, место которого не прогнозировалось. С этим прогнозом в тот же день был ознакомлен директор ИВиС ДВО РАН академик Е.И. Гордеев. С 7 до 13 часов UT, с перерывами, автором прогноза производилось слежение за мировой сейсмичностью по данным оперативного каталога NEIC Геологической службы США. С 9 до 11 часов UT была зарегистрирована форшоковая активизация (5 землетрясений с $M = 3.8\text{--}4.9$) в районе о-ва Хоккайдо, что указывало на возможность возникновения ожидаемого землетрясения в районе Японии. За последующими форшоками слежение не велось в связи с поздним ночным временем. 7 мая в районе Хоккайдо, спустя 14 часов после сделанного прогноза, произошло землетрясение с $M = 6.8$, которое предварялось за 7 часов двадцатью форшоками с $M = 3.8\text{--}6.2$. Расхождение с прогнозом по магнитуде события составило 0.4 единицы M , т.е. около половины порядка по энергии землетрясения. Можно также отметить, что спустя 5 суток после события с $M = 6.8$ произошло катастрофическое Сычуаньское землетрясение 12 мая с $M = 8$. В этом случае сработал типичный сценарий, неоднократно отмечавшийся нами для Камчатского региона (Широков, 2001), при котором сильное землетрясение (в данном случае Сычуаньское) и более слабое событие в другом регионе ($M = 6.8$ на Хоккайдо) зарегистрированы на интервале менее одной недели. Следующий оперативный прогноз землетрясения с $M \geq 6.8$ на ближайшие 5 суток, основанный на методике ГЛОБАС, был официально зарегистрирован 14 ноября 2008 г. Землетрясение в районе Индонезии с $M = 7.3$ произошло спустя двое суток и 17 часов после сделанного прогноза. Форшоковая активизация не наблюдалась. Тестирование

методики ГЛОБАС проводится нами эпизодически. За последние 2 года было сделано несколько удачных прогнозов в реальном времени. В двух случаях после сделанных прогнозов событий с $M \geq 7$ не было. Перед сильными землетрясениями с $M \geq 7$ форшоковая активизация наблюдается достаточно редко, в 5-10 % случаев, поэтому определить место ожидаемого события в рамках методики ГЛОБАС удается редко.

Выводы

1. С целью разработки моделей краткосрочной подготовки сильных землетрясений и вулканических извержений предлагается следующая концепция. Земля рассматривается как единая нелинейная самоорганизующаяся колебательная система, порождающая на непродолжительных временных интервалах (как правило, менее месяца) интенсивные, мозаично распределенные глобальные тектонические напряжения, являющиеся следствием влияния на геотектонику общепланетарных космических факторов и зависящих от них процессов взаимодействия тектонических плит. В интервале периодов до нескольких сотен лет к числу основных факторов космического происхождения, влияющих на геотектонические процессы, относятся солнечная активность, электромагнитные и гравитационные поля в системе Солнце-Земля-Луна.

Космические воздействия ритмической природы должны рассматриваться в качестве ключевых факторов при разработке моделей подготовки сильных событий (Широков, 1977, 1985, 2001, 2007, 2008а, 2008б).

2. В соответствии с представленным выше методологическим подходом предложена планетарно-региональная модель подготовки сильных землетрясений, в соответствии с которой заключительная стадия подготовки сильных землетрясений связана с относительно кратковременной (как правило, менее месяца) глобальной перестройкой полей тектонических напряжений для Земли в целом, вызванной влиянием космических факторов и процессами взаимодействия тектонических плит (Широков, 2001). Считается, что в возникновении сильных, с магнитудой примерно 7.5 и более, землетрясений всегда присутствует общепланетарная составляющая (Широков, 2001). Аналогичная модель предложена и для сильных вулканических извержений.

3. Анализ влияния на сильные события различных космических ритмов позволил разработать в рамках планетарно-региональной модели новые подходы к решению задач долгосрочного прогноза землетрясений и вулканических извержений. На этой основе разработаны шесть новых методов долгосрочного прогноза землетрясений и извержений, а также метод краткосрочного прогноза землетрясений по сейсмологическим данным (Широков, 2001, 2008а, 2008б; Широков, Серафимова, 2006). Выявлены 223-летний и 56-летний циклы для извержений вулканов Камчатки и мира. В ближайшие 20 лет камчатские землетрясения с моментной магнитудой $M \geq 7.7$ и глубиной очагов до 100 км ожидаются только в период октябрь 2014 – март 2017 гг. (Широков, Серафимова, 2006). Очередное извержение с объемом продуктов $V \geq 0.30 \text{ км}^3$ ожидается не ранее 2050 г. а с $V \geq 1.0 \text{ км}^3$ не ранее, чем 2068 г.

4. Разработан метод фазовых траекторий (МФТ), основанный на совместном изучении влияния на землетрясения и извержения двух космических ритмов. В рамках метода сделаны прогнозы землетрясений и извержений для 16 регионов Земли на ближайшие 20 и более лет (Широков, Серафимова, 2006, 2007, 2008). Эффективность долгосрочных прогнозов по ретроспективным данным в несколько раз превышает соответствующее значение эффективности других методов долгосрочного прогноза.

Шесть землетрясений, произошедших в мире с ноября 2006 г. с $M \geq 7.7$, соответствуют сделанному в 2006 г. долгосрочному прогнозу событий в реальном времени (Широков, Серафимова, 2006). Вне площадей выделенных по методу МФТ «опасных» кластеров в 2007-2008 гг. землетрясений прогнозируемого энергетического уровня в рассматривавшихся регионах Тихоокеанского тектонического пояса не происходило.

5. Разработана методика долгосрочного прогноза времени и географической широты места извержений вулканов Земли с объемом продуктов $V \geq 1.0 \text{ км}^3$, основанная на выявленной зависимости широты места извержений от фазы 22-летнего цикла солнечной активности. Дан прогноз извержений с объемом продуктов $V \geq 1.0 \text{ км}^3$ на ближайшие 20 лет (Широков, 2008б).

6. Разработана методика оперативного и краткосрочного прогноза мировых землетрясений (ГЛОБАС), основанная, главным образом, на данных мировой сейсмичности и изучении связи событий с космическими ритмами. На основе этой методики за последние 2 года сделан ряд успешных прогнозов землетрясений с $M \geq 6.8$ в реальном времени без указания места их возникновения. В двух случаях ожидаемых событий не было.

7. Предложенные методы прогноза могут использоваться для других сейсмоактивных регионов мира.

Автор выражает благодарность д.г.-м.н. И.В. Мелекесцеву, к.ф.-м.н. О.П. Руленко и Ю.К. Серафимовой за содействие в проведении работы и ценные замечания.

Работа выполнена в рамках гранта ДВО РАН 06 III А-08-336.

Список литературы

Абдурахманов А.И., Фирстов П.П., Широков В.А. Возможная связь вулканических извержений с цикличностью солнечной активности // XV Генеральная ассамблея МГСС. Тезисы докл. Симпозиум: Вулканизм и землетрясения верхней мантии. М.: Наука, 1971. С. 3-4.

Абдурахманов А.А., Фирстов П.П., Широков В.А. Возможная связь вулканических извержений с 11-летней цикличностью солнечной активности // Бюлл. вулкан. станций. М.: Наука, 1976. № 52. С. 3-10.

Большев Л.Н., Смирнов Н.В. Таблицы математической статистики. М.: Наука, 1965. 464 с.

Витинский Ю.И. Цикличность и прогнозы солнечной активности. Л.: Наука, 1973. 257 с.

Гусев А.А. Прогноз землетрясений по статистике сейсмичности // Сейсмичность и сейсмический прогноз, свойства верхней мантии и их связь с вулканизмом на Камчатке. Новосибирск: Наука, 1974. С. 109-119.

Гусев А.А., Петухин А.Г. О возможной синхронизации сильных землетрясений лунным 18.6-летним циклом, его долями и кратными // Вулканология и сейсмология. 1997. № 3. С. 64-79.

Гущенко И.И. Извержения вулканов мира. М.: Наука, 1979. 475 с.

Гущенко И.И. Цикличность извержений вулканов мира // Вулканология и сейсмология. 1985. № 2. С. 27-48.

Добровольский И.П. Механика подготовки тектонического землетрясения. М.: Наука, 1991. 189 с.

Карпатское землетрясение 1986 г. // Под редакцией А.В. Друмя и др. Кишинев: Штиинца, 1990. 335 с.

Котляр П.Е., Ким В.И. Положение полюса и сейсмическая активность Земли. Новосибирск: ОИГГМ СО РАН, 1994. 126 с.

Кропоткин П.Н. Возможная роль космических факторов в геотектонике // Геотектоника. 1970. № 2. С. 30-76.

Куццов А.В. Изменение характера геоакустической эмиссии в связи с землетрясением на Камчатке // Физика Земли. 2005. № 10. С. 1-7.

Ламакин В.В. О периодичности байкальских землетрясений // ДАН СССР. 1966. Т. 170. № 2. С. 210-213.

Леонов В.Л. О возможности сопоставления вулканической и солнечной активности на примере Большого трещинного Толбачинского извержения // Вулканология и сейсмология. 1979. № 6. С. 62-66.

Линьков Е.М., Петрова Л.Н., Осипов К.С. Сейсмогравитационные пульсации Земли и возмущения атмосферы как возможные предвестники сильных землетрясений // ДАН СССР. 1990. Т. 313. № 5. С. 1095-1098.

Пийп Б.И. Ключевская сопка и ее извержения в 1944-1945 гг. и в прошлом // Труды лабор. вулканол. 1956. Вып. 11. 309 с.

Ризниченко Ю.В. Избранные труды. Проблемы сейсмологии. М.: Наука, 1985. 408 с.

Родкин М.В. Прогноз непредсказуемых катастроф // Вокруг света. 2008. №6. С. 88-100.

Руленко О.П. Некоторые особенности проявления аномалий электрического поля в приземной атмосфере перед землетрясениями // Геодинамика и вулканизм Курило-Камчатской островодужной системы / Отв. ред. Б.В. Иванов. Петропавловск-Камчатский: ИВГиГ ДВО РАН, 2001. С. 75-81.

Руленко О.П. Тензочувствительность предсейсмических отрицательных аномалий электрического поля в приземном воздухе // Сборник трудов Пятой Международной конференции по атмосферному электричеству. Т. 2. Владимир: «Транзит ИКС», 2003. С. 82-85.

Руленко О.П., Дружин Г.И., Вершинин Е.Ф. Измерение электрического поля перед камчатским землетрясением 13.11.1993 г., $M = 7.0$ // Докл. РАН. 1996. Т. 348. №6. С. 814-816.

Руленко О.П., Иванов А.В., Шумейко А.В. Краткосрочный атмосферно-электрический предвестник камчатского землетрясения 6.03.1992 г., $M = 6.1$ // Докл. РАН. 1992. Т. 236. № 6. С. 980-982.

Серафимова Ю.К. О связи сильных ($M_w \geq 7.5$) землетрясений Камчатки с солнечной активностью // Геофизический мониторинг Камчатки. Материалы научно-технической конференции 17-18 января 2006 г., г. Петропавловск-Камчатский. Петропавловск-Камчатский: «Оттиск», 2006. С. 171-177.

Сидорин А.Я. Предвестники землетрясений. М.: Наука, 1992. 192 с.

Соболев Г.А. Основы прогноза землетрясений. М.: Наука, 1993. 313 с.

Сытинский А.Д. Современные тектонические движения как одно из проявлений солнечной активности // Геомагнетизм и аэрономия. 1963. Т. III. № 1. С. 26-43.

Сытинский А.Д. О зависимости глобальной и региональной сейсмичности Земли от фазы 11-летнего цикла солнечной активности // ДАН СССР. 1982. Т. 265. № 6. С. 1350-1353.

Сытинский А.Д. О связи землетрясений с солнечной активностью // Физика Земли. 1989. № 2. С. 13-30.

Фирстов П.П., Широков В.А. Динамика молекулярного водорода и ее связь с геотектоническими процессами на Петропавловск-Камчатском геодинамическом полигоне по данным наблюдений в 1999–2003 гг. // Геохимия. 2005. № 11. С. 1151-1160.

Шебалин Н.В. Сильные землетрясения. М.: Изд-во Академии горных наук, 1997. 542 с.

Широков В.А. Космос и вулканы // Человек и стихия. Л.: Гидрометеиздат, 1973. С. 26-28.

Широков В.А. Влияние космических факторов на геодинамическую обстановку и ее долгосрочный прогноз для северо-западного участка Тихоокеанской тектонической зоны // Вулканизм и геодинамика / Отв. ред. Г.П. Авдейко, С.А. Федотов. М.: Наука, 1977. С. 103-115.

Широков В.А. Влияние 19-летнего лунного прилива на возникновение больших камчатских извержений и землетрясений и их долгосрочный прогноз // Геологические и геофизические данные о БТТИ 1975-1976 гг. / Отв. ред. С.А. Федотов, Е.К. Мархинин. М.: Наука, 1978. С. 164-170.

Широков В.А. О связи извержений вулканов с тектоническими землетрясениями Камчатки // Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата физ.-мат. наук. Петропавловск-Камчатский. 1980. 19 с.

Широков В.А. Некоторые вопросы методики комплексного прогноза побочных извержений вулкана Ключевского (Камчатка) // Вулканология и сейсмология. 1985. № 6. С. 48-58.

Широков В.А. Опыт краткосрочного прогноза времени, места и силы камчатских землетрясений 1996-2000 гг. с магнитудой $M = 6-7.8$ по комплексу сейсмологических и геофизических данных // Геодинамика и вулканизм Курило-Камчатской островодужной системы / Отв. ред. Б.В. Иванов. Петропавловск-Камчатский: ИВГиГ ДВО РАН, 2001. С. 95-116.

Широков В.А. Влияние космических факторов на возникновение сильных извержений вулканов Земли и проблема их долгосрочного прогноза // Материалы ежегодной конференции, посвященной Дню вулканолога, 27-29 марта 2008 г., г. Петропавловск-Камчатский. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2008а. С. 305-314.

Широков В.А. Разработка новых методов долгосрочного прогноза вулканических извержений на основе изучения влияния на них космических факторов // Материалы ежегодной конференции, посвященной Дню вулканолога, 27-29 марта 2008 г., г. Петропавловск-Камчатский. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2008б. С. 315-322.

Широков В.А., Руленко О.П. Новая методика исследования и сопоставления вариаций скорости сеймотектонического движения и динамики электрического поля в приземном воздухе // Солнечно-земные связи и предвестники землетрясений: IV междунар. конф., с. Паратунка Камч. обл., 14-17 авг. 2007 г. Сб. докл. Петропавловск-Камчатский: ИКИР ДВО РАН, 2007. С. 211-217.

Широков В.А., Серафимова Ю.К. О связи 19-летнего лунного и 22-летнего солнечного циклов с сильными землетрясениями и долгосрочный сейсмический прогноз для северо-западной части Тихоокеанского тектонического пояса // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2006. № 2. Выпуск № 8. С. 120-133.

Широков В.А., Серафимова Ю.К. Методика прогноза сильных землетрясений с магнитудой $M \geq 7.6$ и оценка ее эффективности для различных регионов Земли // Солнечно-земные связи и предвестники землетрясений: IV междунар. конф., с. Паратунка Камч. обл., 14-17 авг. 2007 г. Сб. докл. Петропавловск-Камчатский: ИКИР ДВО РАН, 2007. С. 482-489.

Широков В.А., Серафимова Ю.К. Прогноз сильных извержений вулканов Тихоокеанского тектонического пояса на ближайшие 20 лет на основе применения метода фазовых траекторий // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2008. № 2. Выпуск № 12. С. 201-210.

Широков В.А., Фирстов П.П. О возможности краткосрочного прогноза землетрясений Земли с $M \geq 7$ по данным изменений индекса геомагнитной возмущенности // Солнечно-земные связи и предвестники землетрясений: III междунар. конф., с. Паратунка Камч. обл., 16-21 августа 2004 г. Сб. докл. Петропавловск-Камчатский: ИКИР ДВО РАН, 2004. Ч. I. С. 142-150.

Широков В.А., Фирстов П.П., Широкова Н.В. Разработка методов краткосрочного прогноза землетрясений, цунами и извержений вулканов Камчатки по сейсмологическим и геофизическим данным // Отчет по НИР за 2001-2005 гг., гос. рег. № 01.200.010561. Науч. рук. В.А. Широков. Петропавловск-Камчатский. 2006. 85 с.

Hamilton W.L. Tidal Cycles of Volcanic Eruptions: Fortnightly to 19 Yearly Periods // JGR. 1973. V. 78. № 17. P. 3356-3362.

РАЗРАБОТКА МОДЕЛЕЙ ПОДГОТОВКИ СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ И ВУЛКАНИЧЕСКИХ ИЗВЕРЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ ИЗУЧЕНИЯ ИХ СВЯЗИ С КОСМИЧЕСКИМИ РИТМАМИ

Широков В.А.

*Камчатский филиал Геофизической службы РАН, Петропавловск-Камчатский,
e-mail: shirokov@kscnet.ru*

О моделях подготовки тектонических землетрясений

К числу наиболее разработанных моделей относятся дилатантно-диффузионная, лавинно-неустойчивого трещинообразования, неустойчивого скольжения и фазовых превращений, активной иерархически структурированной геофизической среды, самоорганизованной критичности, консолидации. Их обзор и критический анализ представлен в монографии И.П. Добровольского (1991), автора модели консолидации, в соответствии с которой наиболее контрастные и интенсивные динамические процессы происходят в фазе разрушения на заключительной стадии краткосрочной подготовки землетрясений. Ее длительность составляет примерно несколько недель, иногда месяцев или дней. Изучение отклика геофизической среды на этой стадии сейсмотектонического процесса позволяет оценить прогностическую эффективность аномалий, осуществить их диагностику, решать вопросы генезиса. Однако анализ данных по предвестниковым явлениям часто приводит к неоднозначности интерпретации получаемых результатов при использовании существующих моделей подготовки сильных землетрясений.

Считается, что до сих пор не ясны причины, приводящие к возникновению сильных тектонических землетрясений. Например, по мнению Н.В. Шебалина, в связи с отсутствием адекватной физической модели их подготовки надежное предсказание землетрясений невозможно (Шебалин, 1997). Можно провести аналогию между разрывом при землетрясении и разрушением образца горной породы. Если образец положить под пресс и увеличивать нагрузку, он, в конце концов, разрушится. Но реальные величины разрушающих напряжений в литосфере значительно меньше тех, которые, согласно расчетам, требуются для возникновения разрыва пород при землетрясении.

До сих пор не ясны причины возникновения землетрясений с глубиной очагов более 200 км. На этих глубинах для возникновения подвижки даже по уже готовому разлому требуются гигантские напряжения. Но имеющиеся оценки свидетельствуют о том, что напряжения в мантии весьма умеренные (Родкин, 2008). Многие считают привлекательной выдвинутую в 1987 г. идею развития в среде самоорганизованной критичности (СОК-гипотеза), обсуждавшуюся в работе (Добровольский, 1991). Предполагается, что сложные геодинамические системы, в частности, земная кора, самопроизвольно эволюционируют в направлении критического состояния с сильным взаимодействием соседних элементов (Родкин, 2008). В таком состоянии в системе могут развиваться события самого разного масштаба, в том числе предельной силы. Каждое отдельное движение при этом непредсказуемо, но статистически можно оценить среднюю вероятность их появления. Модель землетрясения как критического явления может считаться полезной для понимания многих предвестниковых процессов, но из этой же модели вытекает случайность и непредсказуемость землетрясений. Перспективы улучшения ранее разработанных моделей подготовки сильных событий в последние годы не обсуждались. В результате сейсмология XXI века оказалась на развилке нескольких дорог, ведущих, как считают многие ученые, в направлениях с невыясненными перспективами. Часто говорят о необходимости смены парадигмы при решении проблем геодинамики и прогноза землетрясений.

По нашему мнению, основной недостаток существующих моделей связан с тем, что в них не учитывается важное влияние на современные тектонические процессы

общепланетарных космических воздействий (Широков, 2001). Во всяком случае, в известных нам моделях подготовки землетрясений космические факторы не относятся к основополагающим.

Вопрос о том, в какой степени космические ритмы разного происхождения ответственны за возникновение тектонических землетрясений и извержений вулканов является одним из наиболее важных в науках о Земле. Хотя эта проблема является дискуссионной, однако, понятно, что перестройка глобальных и региональных тектонических напряжений должна зависеть от воздействия космических факторов. Один из первых обзоров исследований, касающихся роли космических факторов в геотектонике, приведен в работе (Кропоткин, 1970). В ней сделан вывод о том, что современные тектонические процессы являются результатом действия двух факторов – внутренней эволюции Земли как планеты и космических воздействий. Однако, как отмечалось выше, и в наиболее разработанных, и в других моделях подготовки землетрясений внутриземные процессы исследуются вне их взаимосвязи с космическими воздействиями.

Наши представления о связи космических факторов с тектоническими землетрясениями и извержениями вулканов с учетом промежуточных звеньев этой взаимосвязи в схематическом виде были представлены впервые в работе (Широков, 1977), основанной на обзоре работ многих исследователей. Сделан вывод, что в интервале периодов менее нескольких десятилетий к числу главных факторов космического происхождения относятся электромагнитное и корпускулярное излучение Солнца, а также электромагнитные и гравитационные поля в системе Солнца-Луна-Земля (рис. 1). На этом рис. показано, что поле упругих напряжений Земли является функцией многих переменных, каждая из которых сложным образом меняется во времени. В общем виде задача изучения влияния космических факторов на сейсмические и вулканические процессы едва ли может быть решена, однако, на практике зачастую достаточно ограничиться изучением отклика среды на частотах, которые являются главными составляющими космических воздействий.

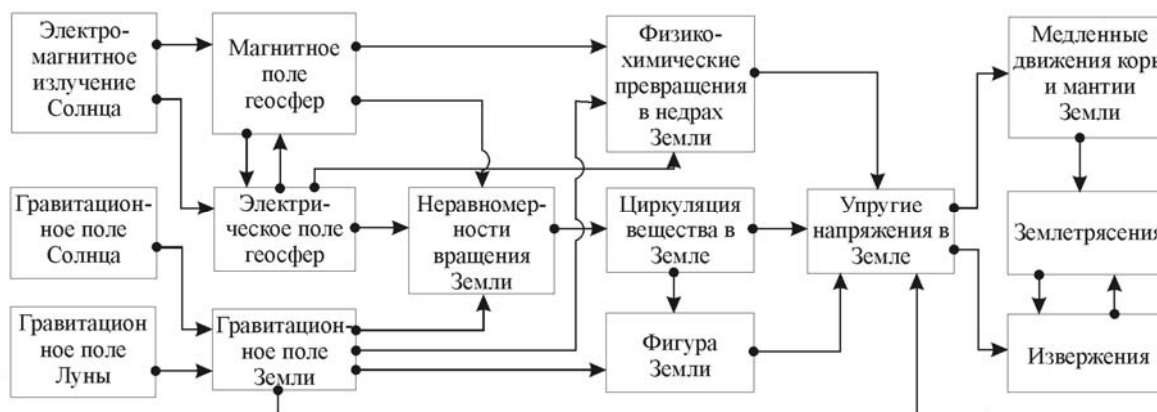


Рис. 1. Схема влияния космических факторов на возникновение сильных землетрясений и извержений вулканов с учётом промежуточных звеньев, связывающих эти явления.

Наибольший интерес представляет изучение циклических, периодических и квазипериодических ритмов, связанных с солнечной активностью, лунно-солнечными приливами и изменением положения оси вращения Земли относительно звезд: солнечные сутки, 27-суточный ритм, связанный с вращением «активных» широт Солнца вокруг своей оси, земной год, 14-месячный чандлеровский период изменений размаха колебаний полюсов, приливные ритмы с периодами около одних суток, 29.5 суток, 18.6 года, а также 11-летняя, 22-летняя и вековая цикличность солнечной активности.

На наш взгляд, перспективной является концепция, в соответствии с которой Землю следует рассматривать как единую нелинейную самоорганизующуюся колебательную систему, порождающую в определенные интервалы времени интенсивные, мозаично распределенные глобальные тектонические напряжения, являющиеся следствием влияния на сеймотектонические и вулканические процессы общепланетарных космических факторов и зависящих от них региональных и глобальных процессов взаимодействия тектонических плит. В рамках этого подхода нами предложена планетарно-региональная модель подготовки тектонических землетрясений (Широков, 2001). Основой модели является тезис о том, что краткосрочная фаза подготовки любого сильного землетрясения (например, с магнитудой $M = 7.5$ и более) существенным образом зависит от космических воздействий общепланетарного масштаба, т.е. в подготовке сильных землетрясений всегда присутствует планетарная составляющая. Зависит от космических причин, как будет показано далее, и долгосрочная подготовка землетрясений.

На возможность использования космических ритмов для прогноза землетрясений и извержений вулканов указывалось во многих работах еще в 50-80-ые годы (Абдурахманов и др., 1971, 1976; Гущенко, 1985; Ламакин, 1966; Леонов, 1979; Пийп, 1956; Сытинский, 1963, 1982, 1989; Широков, 1973, 1977, 1978, 1980, 1985; Hamilton, 1973 и др.). На основе сопоставления космических ритмов с сейсмическими и вулканическими явлениями автором был дан первый успешный среднесрочный прогноз камчатского землетрясения с $M = 7.5$ в феврале 1973 г. и побочного извержения Ключевского вулкана в 1974 г. (Широков, 1973). Нами прогнозы подразделяются на долгосрочные (время упреждения T превышает один год), среднесрочные (T менее одного года), краткосрочные (T менее месяца) и оперативные (T не превышает одной недели).

В дальнейшем на основе использования космических ритмов был разработан алгоритм М6 (Широков, 2001), с помощью которого с 1995 по 2008 гг. в реальном времени сделано 22 официально зарегистрированных краткосрочных прогноза времени, места, магнитуды и макросейсмической балльности камчатских землетрясений со временем упреждения менее 16 суток. Большинство прогнозов оказались успешными.

Далее приведены результаты исследований, которые указывают на определяющую роль общепланетарных космических факторов в процессе подготовки сильных землетрясений и вулканических извержений.

О роли космических ритмов в возникновении больших извержений вулканов Земли

Этот вопрос детально рассматривался нами в работах (Широков, 1980, 2007, 2008а, 2008б). Здесь кратко обозначим лишь основные результаты. Рассмотрим так называемые большие извержения с объемом изверженных вулканических продуктов $V \geq 0.8 \text{ км}^3$ (Гущенко, 1979 и др.). С 1800 г. по 2008 г. произошло 38 таких событий, из которых 17, т.е. почти половина, в историческое время наблюдались впервые. Таким образом, многие активные и потенциально активные вулканы переходят в состояние многовекового покоя, которое затем заканчивается крупным извержением. Статистика событий до 1800 г. является менее представительной, так как за 300-летний период 1500-1799 гг. отмечено только 21 извержение, более половины которых наблюдались в Индонезии и Исландии. Суммарный объем 38 извержений 1800-2008 гг. составляет ориентировочно 320 км^3 . Из них 33 наблюдались в Тихоокеанском вулканическом поясе, одно на Гавайских островах и четыре в Исландии. Наиболее масштабными были извержения вулканов Тамбора (Индонезия, 1812 г., $V = 150 \text{ км}^3$), Косегвина (Никарагуа, 1835 г., $V = 50 \text{ км}^3$) и Кракатау (Индонезия, 1883 г., $V = 18 \text{ км}^3$). Для извержений в качестве временного репера выбирается дата главного пароксизма или начало извержения. Рассмотрим теперь космические факторы, оказывающие значимое влияние на большие извержения вулканов Земли.

Фактор первый: вековое перемещение географических полюсов. Если из перемещений северного полюса (движения южного аналогичны) отфильтровать близкие к круговым или эллиптическим траекториям годовую и 14-месячную чандлеровскую составляющие, то останется нерегулярная аperiодическая компонента, именуемая вековым ходом полюса. Траектория векового хода рассчитывается относительно эпохи 1900 г. (время начала работы Международной службы определения широт) по данным, рассчитанным для середины каждого года на основе 20 отсчетов в год (Котляр, Ким, 1994). Векторы смещений от года к году и определяют траекторию векового хода полюса. Обнаружено, что из 21 извержения прошлого века с $V \geq 1.0 \text{ км}^3$ 19 произошли в те периоды, когда генеральное направление векового хода полюса соответствовало диапазону его перемещений вдоль меридианов от 70 до 180 градусов западной долготы (Широков, 2007, 2008а). В этом диапазоне направлений полюс перемещался примерно 58% времени. Неслучайность связи направлений перемещений полюса с моментами возникновения больших извержений значима с уровнем доверия более 0.95 (Большев, Смирнов, 1965).

Фактор второй: вариации свободных 14-месячных чандлеровских колебаний полюса. На основании сопоставления моментов возникновения больших вулканических извержений с $V \geq 1 \text{ км}^3$ с графиком изменения среднегодовых значений радиусов 14-месячных чандлеровских колебаний (радиусов полодий) относительно среднего положения полюса обнаружено, что вероятность возникновения извержений тем больше, чем выше максимальные и средние значения амплитуд радиусов полодий и чем устойчивее форма квазипериодических вариаций, имеющих средний период 6.2 года (рис. 2). Ключевые особенности графика определяют неравномерность извержений во времени, их группируемость (рис. 2). Например, после 1900 г. первый минимум активности вулканов (1915–1947 гг., 2 извержения за 33 года) приурочен к самым низким в прошлом веке амплитудам радиусов полодий, причем сами вариации носили нерегулярный, почти аperiодический характер. Наоборот, в начале прошлого века на интервале длительностью 11.6 г. (май 1902–январь 1914 гг.) произошло 7 извержений, т.е. частота извержений в единицу времени была на порядок больше, чем в 1915–1947 гг. В 1902–1913 гг. межгодовые колебания полюса имели устойчивую форму, причем в 1910 г. был зарегистрирован второй по величине за последние 107 лет максимум размаха колебаний полюса (Широков, 2008а). Второй пик активности больших извержений (1947–1956 гг.) аналогичен первому.

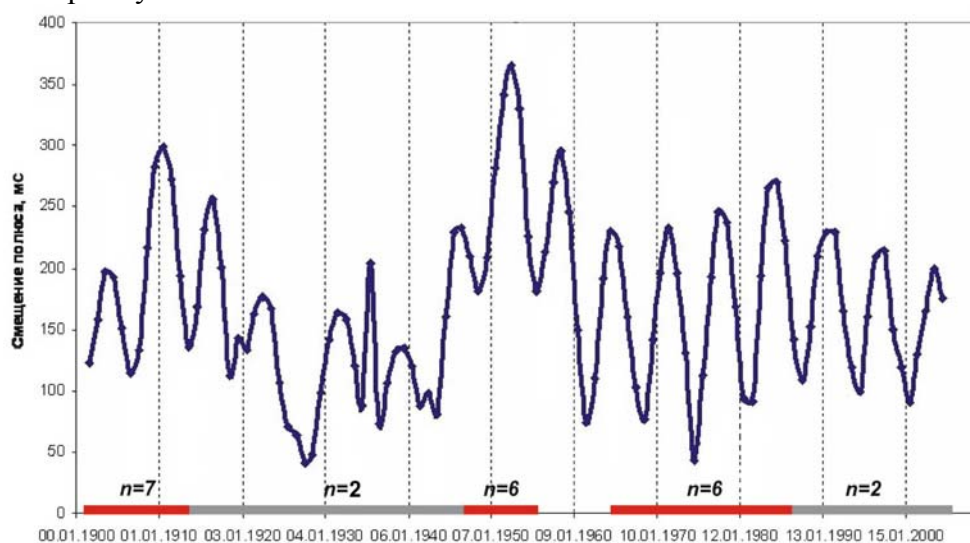


Рис. 2. Вариации среднегодовых амплитуд (радиусов полодий) 14-месячной составляющей чандлеровских колебаний географических полюсов с 1900 г. Числа над темными и светлыми полосками на оси ординат соответствуют числу попавших внутрь полосок извержений с объемом вулканических продуктов $V \geq 1 \text{ км}^3$.

Детальный анализ связи выявленного ритма со средним периодом 6.2 г. с большими извержениями и предваряющими их сильнейшими землетрясениями позволил получить статистически значимые результаты о связи этого ритма с квазипериодическими вертикальными перемещениями вещества земных недр вглубь Земли (в первой половине ритма) и к ее поверхности (во второй половине ритма). Этот процесс циклического перемещения вещества земных недр наиболее выражен в зонах субдукции Тихоокеанского тектонического пояса и является причиной возбуждения чандлеровских колебаний полюса (Широков, 2007). Предложенная нами модель возбуждения чандлеровских колебаний полюсов далее не рассматривается, так как этот вопрос выходит за рамки данной работы. Отметим, что ритм 6.2 г. связан с лунным приливом 18.6 г. так как три периода по 6.2 г. равны 18.6 г.

Фактор третий: 11-летняя и 22-летняя цикличность солнечной активности. Во многих работах выявлена связь землетрясений и извержений вулканов с 11-летней цикличностью солнечной активности (Абдурахманов и др., 1971, 1976; Серафимова, 2006; Сытинский, 1982, 1989; Широков, 1973 и др.). Однако неожиданно оказалось, что в геодинамических процессах 22-летняя цикличность играет более важную роль, чем 11-летняя (Широков, Серафимова, 2006, 2007, 2008). Далее основное внимание обращается на 22-летний цикл.

Фактор четвертый: флуктуации чисел Вольфа в 22-летних солнечных циклах. Вариации чисел Вольфа относительно среднемесячных значений принято именовать флуктуациями, если они превышают два среднеквадратических отклонения (Витинский, 1973). Показано, что суммарная длительность флуктуаций значимо различается в четных и нечетных 11-летних циклах солнечной активности. Сравнение значений флуктуационных индексов, рассчитанных для каждого 11-летнего цикла, с суммарными величинами объемов V изверженных вулканических продуктов в этих циклах показало их значимую корреляцию. Однако наиболее важный результат заключается в том, что по данным 38 больших извержений 1800-2008 гг. в четных 11-летних циклах выделилось 95.5% от общего объема (320 км^3) изверженных продуктов, хотя по длительности четные и нечетные циклы в среднем равны. Наличие значимой связи флуктуационных индексов чисел Вольфа с продуктивностью вулканов указывает на наличие отчетливо выраженной 22-летней цикличности вулканической активности. Сделаем пояснения. Первые предположения о существовании 22-летнего цикла в пятнообразовательной деятельности Солнца были сделаны в конце XIX века Вольфом, но лишь после открытия в 1913 г. Хейлом закона изменения полярности магнитных характеристик Солнца реальность выделения этого цикла получила надежное физическое обоснование (Витинский, 1973). По данным измерений Хейла при переходе от любого 11-летнего цикла к следующему полярность ведущих групп солнечных пятен в каждом из полушарий Солнца меняет знак на противоположный, причем полярность в разных полушариях имеет разный знак. В связи с этим цикл Хейла чаще именуется магнитным. Длительность циклов Хейла характеризуется большей устойчивостью, если за их начало брать эпохи минимумов четных 11-летних циклов, что и сделано в данной работе. За последние 300 лет среднее значение длительности циклов Хейла составляет 21.8 г. С начала прошлого века цикл характеризуется наибольшей устойчивостью, так как отклонения длительности циклов от среднего за этот период значения (21.3 г.) не превышают 3.5%.

Фактор пятый: лунный прилив с периодом 18.6 года. Вопрос о связи сильных извержений вулканов Тихоокеанского пояса, а также извержений вулканов Камчатки с лунным приливом 18.6 года рассматривался нами детально в работах (Широков, 1977, 1978). Для этих двух выборок обнаружена статистически значимая приуроченность событий к двум непересекающимся «активным» фазам землетрясений и извержений, причем «активные» фазы землетрясений опережают «активные» фазы извержений в среднем на 3 года. Выявленные закономерности успешно использовались для

долгосрочного прогноза сильных событий (Гусев, Петухин, 1997; Широков, 1977, 1978, 2001 и др.).

Фактор шестой: многолетние (56-летний и 223-летний) космические ритмы. Обнаружены статистически значимые ритмы с указанными выше периодами, проявляющиеся для землетрясений (Гусев, Петухин, 1997) и для больших извержений вулканов Земли (Широков, 2008б). Первый цикл является утроенным значением лунного прилива 18.6 г., а второй равен 12 периодам этого прилива. 223-летний цикл одновременно равен десяти солнечным циклам Хейла. Это означает, что примерно каждые 223 года фазы 18.6-летнего и 22-летнего циклов становятся одинаковыми (Широков, 2008б). Согласно нашим расчетам, 56-летний ритм отчетливо проявляется не только для землетрясений, но и для больших извержений. Например, все 5 камчатских извержений за последние 200 лет с объемом изверженных продуктов $V \geq 1 \text{ км}^3$ (1854, 1907, 1956, 1964, 1975 гг.) лежат в узком диапазоне фаз 56-летнего ритма, занимающем примерно третью часть приливного цикла. Нетрудно подсчитать, что очередное большое извержение на Камчатке можно ожидать в период 2012-2031 гг. Однако, согласно нашему долгосрочному прогнозу вулканические извержения Камчатки с $V \geq 0.3 \text{ км}^3$ ни в текущем, ни в следующем 22-летнем цикле Хейла, т.е. примерно до 2052 г., не ожидаются (Широков, 2008; Широков, Серафимова, 2008). Этот прогноз является более эффективным, так как основан на совместном анализе двух космических ритмов. Поэтому вероятность больших извержений в 2012-2031 гг. практически равна нулю. Тем не менее, 56-летняя цикличность для вулканических извержений статистически значима. «Опасная активная фаза» 223-летнего цикла для больших извержений вулканов Земли начинается примерно в 2030 г., поэтому можно допустить, что очередное большое извержение на Камчатке может произойти в период 2068-2087 гг. (2012 г. + 56 лет = 2068 г.; 2031 г. + 56 лет = 2087 г.).

Использование космических ритмов для решения задач прогноза сильных событий

Прогноз времени и географической широты места больших извержений вулканов Земли на ближайшие 20 лет. Эта задача была решена на основе обнаружения зависимости широты места больших извержений Земли от фазы 22-летнего цикла Хейла (Широков, 2008б). Выявленная связь служит дополнительным подтверждением общепланетарной природы подготовки сильнейших извержений вулканов Земли и их зависимости от космических ритмов. В работе (Широков, 2008б) дан прогноз больших вулканических извержений на ближайшие 20 лет. Отметим, что в работе (Пийп, 1956) впервые для пароксизмальных извержений вулкана Ключевского обнаружена цикличность с периодом 20 лет, близким к исследуемому нами ритму 22 года.

Совместное использование двух космических ритмов (лунного прилива 18.6 г. и 22-летнего цикла Хейла) для решения задач долгосрочного прогноза землетрясений и извержений. В работе (Широков, Серафимова, 2006) предложен метод фазовых траекторий, позволяющий на основе совместного использования двух указанных выше ритмов осуществлять долгосрочный прогноз сильных землетрясений в различных регионах Земли. Этот метод применен и для вулканических извержений (Широков, 2008б; Широков, Серафимова, 2008). В качестве примера приведем с использованием метода наложения эпох трехмерное распределение (рис. 3) извержений камчатских вулканов 1850 – 2007 гг. с $V \geq 0.3 \text{ км}^3$ в координатах фаза 19-летнего и фаза 22-летнего циклов (по горизонтали) и объемы извержений V (по вертикали). На горизонтальной плоскости выделяются два компактных статистически значимых кластера (рис. 3). Поскольку траектория текущего цикла Хейла, начавшегося в декабре 2007 г., не пересекает «опасные» фазовые окна (кластеры), это означает, что до конца текущего цикла Хейла (примерно 2030 г.) извержения с $V \geq 0.3 \text{ км}^3$ на Камчатке не ожидаются. На основе применения метода фазовых траекторий даны прогнозы сильных извержений для 8

регионов мира на ближайшие 20 лет и сделаны оценки их эффективности (Широков, Серафимова, 2008) .

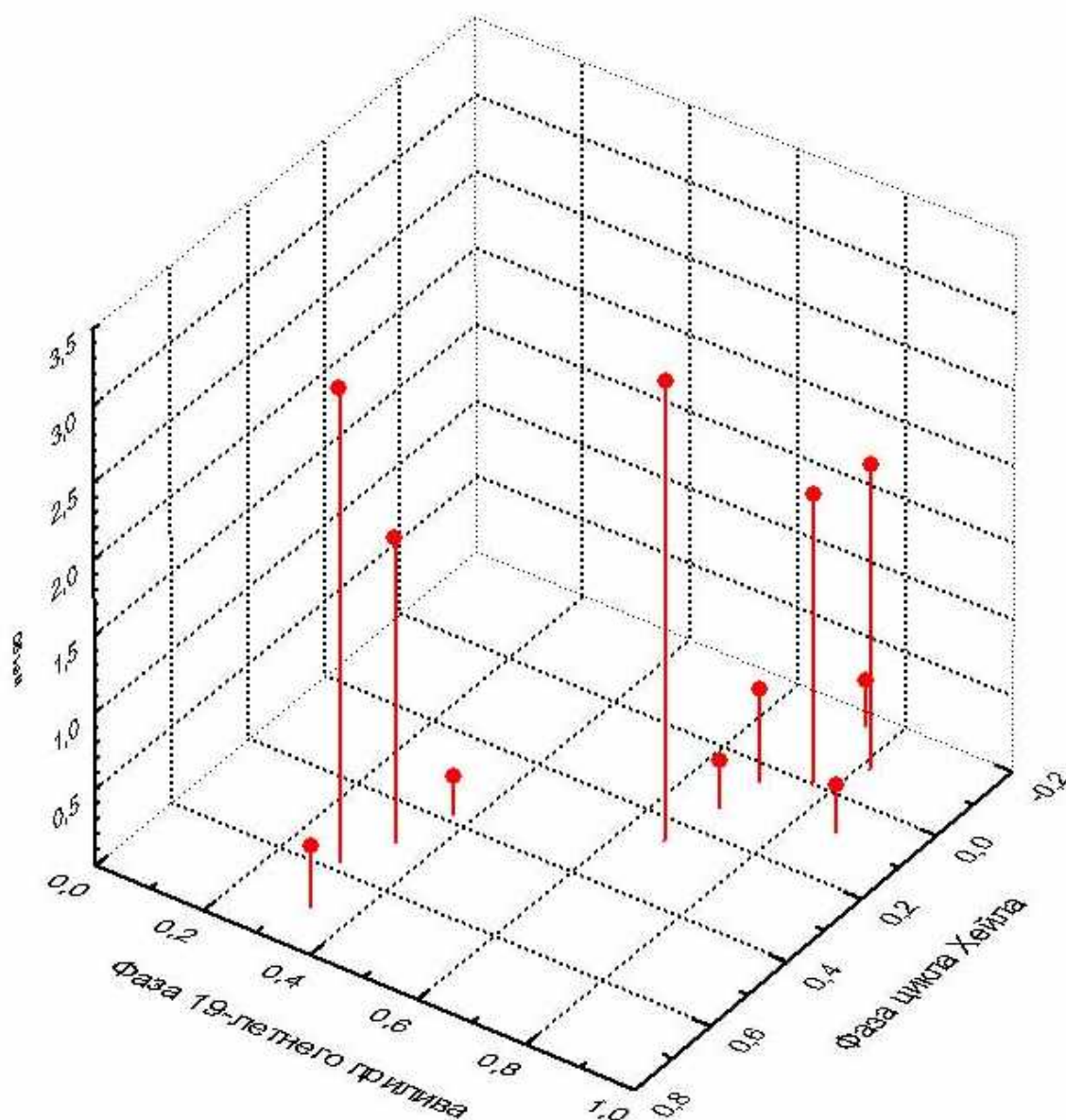


Рис. 3. Трёхмерное распределение извержений вулканов Камчатки 1854-2007 гг. с объемом изверженных продуктов $V \geq 0.3 \text{ км}^3$ в координатах: фаза 19-летнего лунного прилива, фаза 22-летнего солнечного цикла Хейла (по горизонтали) и объёмы V (по вертикали). Пояснения в тексте.

Подведем промежуточный итог. Приведенные выше результаты могут рассматриваться в качестве обоснования планетарно-региональной модели подготовки сильных вулканических извержений. В соответствии с этой моделью их подготовка, как видно из представленных выше результатов, зависит от различных по своей природе космических ритмов. В рамках этой модели сделаны долгосрочные прогнозы сильных извержений для Земли в целом и для ее отдельных регионов. Эффективность прогнозов, в определении А.А.Гусева (1974), по ретроспективным данным в несколько раз больше эффективности других известных нам методов прогноза (Широков, Серафимова, 2008).

Проблема «удаленных» предвестников при решении задач оперативного прогноза землетрясений

В соответствии с нашим подходом общепланетарные космические факторы являются причиной практически одновременной краткосрочной мозаичной перестройки полей тектонических напряжений в различных регионах Земли (Широков, 2001). В такой ситуации возникает проблема диагностики близких (в так называемой зоне подготовки будущего землетрясения) и «удаленных» краткосрочных предвестников в геофизических полях разной природы. Под «удаленными» имеются ввиду предвестники, регистрируемые на расстояниях от очагов землетрясений от 2 000 км и более, т.е. как правило, за пределами так называемой зоны подготовки сильных землетрясений (Добровольский, 1991). С другой стороны, если во многих регионах мира практически одновременно в тензочувствительных пунктах наблюдений будут выявлены предвестниковые аномалии, это может служить указанием начавшейся краткосрочной или оперативной подготовки сильного землетрясения. Такого типа удаленные («ложные» в рамках известных моделей подготовки землетрясений) краткосрочные и оперативные предвестники могут использоваться для прогноза времени готовящегося в мире сильного землетрясения, без определения, как правило, места его возникновения (если не выявлены форшоковая активизация и другие региональные или локальные предвестники в зоне подготовки землетрясения). Выявление статистически значимых эффектов подобного рода позволит глубже понять природу регистрируемых аномалий и поставит нас перед необходимостью детальной разработки адекватных моделей подготовки сильных землетрясений.

Глобальные возмущения различных геофизических полей перед сильными землетрясениями отмечались во многих регионах мира. В качестве примера можно привести аномальные сейсмогравитационные колебания (Линьков и др., 1990), многочисленные случаи аномальных вариаций кажущегося электрического сопротивления на Гармском полигоне, имеющих аналогичную форму перед близкими и удаленными землетрясениями (Сидорин, 1992 и др.). При измерении наклонов земной поверхности в Молдавии выявлено несколько десятков случаев аномальных наклонов, наблюдавшихся как перед близкими землетрясениями зоны Вранча, так и перед удаленными сильными мировыми землетрясениями (Карпатское ..., 1990).

Учитывая эффект «удаленных» предвестников и ключевую роль общепланетарных космических факторов в процессе деформирования зон подготовки сильных землетрясений (Широков, 1977, 1978, 1980), была предложена планетарно-региональная модель подготовки сильных землетрясений (Широков, 2001). В соответствии с этой моделью заключительная стадия их подготовки связана с относительно кратковременной (как правило, менее месяца) глобальной перестройкой полей тектонических напряжений для Земли в целом, вызванной влиянием космических факторов, которые рассматриваются как необходимое условие возникновения сильных землетрясений. Региональный сейсмический отклик на общепланетарные процессы является частью сейсмического отклика для Земли в целом. Это означает, что в возникновении сильных, с магнитудой примерно 7.5 и более, землетрясений всегда присутствует общепланетарная составляющая.

Основываясь на этом подходе, в работе (Широков, 2001) на примере северного фланга Курило-Камчатской зоны субдукции описана и апробирована методика краткосрочного, со временем упреждения менее двух недель, прогноза времени, места и силы землетрясений с магнитудой $M \geq 6$ по сейсмологическим данным (Широков, 2001). Анализировались как региональные (алгоритм M6), так и мировые землетрясения. Оказалось, что в 50% случаев разность во времени спрогнозированных камчатских землетрясений с $M \geq 6$ и сильных ($M \geq 7.5$) мировых землетрясений составляла менее одной недели. На основе этого подхода в 1995-2008 гг. в реальном времени было сделано 22 официально зарегистрированных краткосрочных прогноза, 12 из которых оправдались

по всем основным параметрам (время, место, магнитуда и балльность). В четырех случаях по одному из параметров ошибка прогноза не превысила 15%. Лишь в трех случаях после сделанных прогнозов землетрясений с $M \geq 5$ в регионе не было. В 16 случаях прогнозируемые камчатские землетрясения с $M = 5.4\text{--}7.1$ происходили не позже, чем через 16 суток после даты объявления времени тревоги. Так как прогнозы основывались на учете влияния космических факторов, можно считать, что их роль на заключительной стадии подготовки землетрясений является определяющей.

Камчатскими исследователями разработаны методы краткосрочного и оперативного прогноза землетрясений по данным различных видов геофизических наблюдений. По данным работ (Купцов, 2005; Руленко 2000, 2003; Руленко и др., 1992, 1996; Фирстов, Широков, 2005; Широков, Фирстов, 2004 и др.) перед камчатскими землетрясениями с $M \geq 5$ выявлены краткосрочные и оперативные предвестниковые аномалии.

В Камчатском регионе неоднократно выявлялись оперативные предвестниковые аномалии за часы–сутки до сильных землетрясений в электричестве приземного воздуха (Руленко, 2000, 2003; Руленко и др., 1992, 1996). Выявлены два типа предвестников и показано, что тензочувствительность аномалий электрического поля позволяет выявить предвестники, начиная с уровня приливных эффектов.

В работе (Широков, Руленко, 2007) разработана модифицированная методика расчета скорости Z сеймотектонического движения, по определению Ю.В. Ризниченко (1985), в которой учитывается солнечносуточная составляющая сейсмичности. При сопоставлении параметра Z с электрическим полем в приземном воздухе по наблюдениям в июне–октябре 2006 г. выявлена статистически значимая корреляция ($r = 0.65$) рассматриваемых параметров. Это служит дополнительным подтверждением влияния солнечного ритма на процессы в двух геосферных оболочках.

Приведем конкретные примеры применения в реальном времени разрабатываемого нами подхода, основанные на использовании космических ритмов. На основе разработанной методики ГЛОБАС (глобальная активизация сейсмичности) были сделаны оперативные прогнозы мировых землетрясений (без определения их местоположения) с использованием, главным образом, сейсмологических данных. 7 мая 2008 г. в 2 часа по Гринвичу автором был дан официально зарегистрированный (в Камчатском филиале Российского экспертного совета) прогноз возникновения в течение двух ближайших суток землетрясения с $M \geq 7.2$, место которого не прогнозировалось. С этим прогнозом в тот же день был ознакомлен директор ИВиС ДВО РАН академик Е.И. Гордеев. С 7 до 13 часов UT, с перерывами, автором прогноза производилось слежение за мировой сейсмичностью по данным оперативного каталога NEIC Геологической службы США. С 9 до 11 часов UT была зарегистрирована форшоковая активизация (5 землетрясений с $M = 3.8\text{--}4.9$) в районе о-ва Хоккайдо, что указывало на возможность возникновения ожидаемого землетрясения в районе Японии. За последующими форшоками слежение не велось в связи с поздним ночным временем. 7 мая в районе Хоккайдо, спустя 14 часов после сделанного прогноза, произошло землетрясение с $M = 6.8$, которое предварялось за 7 часов двадцатью форшоками с $M = 3.8\text{--}6.2$. Расхождение с прогнозом по магнитуде события составило 0.4 единицы M , т.е. около половины порядка по энергии землетрясения. Можно также отметить, что спустя 5 суток после события с $M = 6.8$ произошло катастрофическое Сычуаньское землетрясение 12 мая с $M = 8$. В этом случае сработал типичный сценарий, неоднократно отмечавшийся нами для Камчатского региона (Широков, 2001), при котором сильное землетрясение (в данном случае Сычуаньское) и более слабое событие в другом регионе ($M = 6.8$ на Хоккайдо) зарегистрированы на интервале менее одной недели. Следующий оперативный прогноз землетрясения с $M \geq 6.8$ на ближайшие 5 суток, основанный на методике ГЛОБАС, был официально зарегистрирован 14 ноября 2008 г. Землетрясение в районе Индонезии с $M = 7.3$ произошло спустя двое суток и 17 часов после сделанного прогноза. Форшоковая активизация не наблюдалась. Тестирование

методики ГЛОБАС проводится нами эпизодически. За последние 2 года было сделано несколько удачных прогнозов в реальном времени. В двух случаях после сделанных прогнозов событий с $M \geq 7$ не было. Перед сильными землетрясениями с $M \geq 7$ форшоковая активизация наблюдается достаточно редко, в 5-10 % случаев, поэтому определить место ожидаемого события в рамках методики ГЛОБАС удается редко.

Выводы

1. С целью разработки моделей краткосрочной подготовки сильных землетрясений и вулканических извержений предлагается следующая концепция. Земля рассматривается как единая нелинейная самоорганизующаяся колебательная система, порождающая на непродолжительных временных интервалах (как правило, менее месяца) интенсивные, мозаично распределенные глобальные тектонические напряжения, являющиеся следствием влияния на геотектонику общепланетарных космических факторов и зависящих от них процессов взаимодействия тектонических плит. В интервале периодов до нескольких сотен лет к числу основных факторов космического происхождения, влияющих на геотектонические процессы, относятся солнечная активность, электромагнитные и гравитационные поля в системе Солнце-Земля-Луна.

Космические воздействия ритмической природы должны рассматриваться в качестве ключевых факторов при разработке моделей подготовки сильных событий (Широков, 1977, 1985, 2001, 2007, 2008а, 2008б).

2. В соответствии с представленным выше методологическим подходом предложена планетарно-региональная модель подготовки сильных землетрясений, в соответствии с которой заключительная стадия подготовки сильных землетрясений связана с относительно кратковременной (как правило, менее месяца) глобальной перестройкой полей тектонических напряжений для Земли в целом, вызванной влиянием космических факторов и процессами взаимодействия тектонических плит (Широков, 2001). Считается, что в возникновении сильных, с магнитудой примерно 7.5 и более, землетрясений всегда присутствует общепланетарная составляющая (Широков, 2001). Аналогичная модель предложена и для сильных вулканических извержений.

3. Анализ влияния на сильные события различных космических ритмов позволил разработать в рамках планетарно-региональной модели новые подходы к решению задач долгосрочного прогноза землетрясений и вулканических извержений. На этой основе разработаны шесть новых методов долгосрочного прогноза землетрясений и извержений, а также метод краткосрочного прогноза землетрясений по сейсмологическим данным (Широков, 2001, 2008а, 2008б; Широков, Серафимова, 2006). Выявлены 223-летний и 56-летний циклы для извержений вулканов Камчатки и мира. В ближайшие 20 лет камчатские землетрясения с моментной магнитудой $M \geq 7.7$ и глубиной очагов до 100 км ожидаются только в период октябрь 2014 – март 2017 гг. (Широков, Серафимова, 2006). Очередное извержение с объемом продуктов $V \geq 0.30 \text{ км}^3$ ожидается не ранее 2050 г. а с $V \geq 1.0 \text{ км}^3$ не ранее, чем 2068 г.

4. Разработан метод фазовых траекторий (МФТ), основанный на совместном изучении влияния на землетрясения и извержения двух космических ритмов. В рамках метода сделаны прогнозы землетрясений и извержений для 16 регионов Земли на ближайшие 20 и более лет (Широков, Серафимова, 2006, 2007, 2008). Эффективность долгосрочных прогнозов по ретроспективным данным в несколько раз превышает соответствующее значение эффективности других методов долгосрочного прогноза.

Шесть землетрясений, произошедших в мире с ноября 2006 г. с $M \geq 7.7$, соответствуют сделанному в 2006 г. долгосрочному прогнозу событий в реальном времени (Широков, Серафимова, 2006). Вне площадей выделенных по методу МФТ «опасных» кластеров в 2007-2008 гг. землетрясений прогнозируемого энергетического уровня в рассматривавшихся регионах Тихоокеанского тектонического пояса не происходило.

5. Разработана методика долгосрочного прогноза времени и географической широты места извержений вулканов Земли с объемом продуктов $V \geq 1.0 \text{ км}^3$, основанная на выявленной зависимости широты места извержений от фазы 22-летнего цикла солнечной активности. Дан прогноз извержений с объемом продуктов $V \geq 1.0 \text{ км}^3$ на ближайшие 20 лет (Широков, 2008б).

6. Разработана методика оперативного и краткосрочного прогноза мировых землетрясений (ГЛОБАС), основанная, главным образом, на данных мировой сейсмичности и изучении связи событий с космическими ритмами. На основе этой методики за последние 2 года сделан ряд успешных прогнозов землетрясений с $M \geq 6.8$ в реальном времени без указания места их возникновения. В двух случаях ожидаемых событий не было.

7. Предложенные методы прогноза могут использоваться для других сейсмоактивных регионов мира.

Автор выражает благодарность д.г.-м.н. И.В. Мелекесцеву, к.ф.-м.н. О.П. Руленко и Ю.К. Серафимовой за содействие в проведении работы и ценные замечания.

Работа выполнена в рамках гранта ДВО РАН 06 III А-08-336.

Список литературы

Абдурахманов А.И., Фирстов П.П., Широков В.А. Возможная связь вулканических извержений с цикличностью солнечной активности // XV Генеральная ассамблея МГСС. Тезисы докл. Симпозиум: Вулканизм и землетрясения верхней мантии. М.: Наука, 1971. С. 3-4.

Абдурахманов А.А., Фирстов П.П., Широков В.А. Возможная связь вулканических извержений с 11-летней цикличностью солнечной активности // Бюлл. вулкан. станций. М.: Наука, 1976. № 52. С. 3-10.

Большев Л.Н., Смирнов Н.В. Таблицы математической статистики. М.: Наука, 1965. 464 с.

Витинский Ю.И. Цикличность и прогнозы солнечной активности. Л.: Наука, 1973. 257 с.

Гусев А.А. Прогноз землетрясений по статистике сейсмичности // Сейсмичность и сейсмический прогноз, свойства верхней мантии и их связь с вулканизмом на Камчатке. Новосибирск: Наука, 1974. С. 109-119.

Гусев А.А., Петухин А.Г. О возможной синхронизации сильных землетрясений лунным 18.6-летним циклом, его долями и кратными // Вулканология и сейсмология. 1997. № 3. С. 64-79.

Гущенко И.И. Извержения вулканов мира. М.: Наука, 1979. 475 с.

Гущенко И.И. Цикличность извержений вулканов мира // Вулканология и сейсмология. 1985. № 2. С. 27-48.

Добровольский И.П. Механика подготовки тектонического землетрясения. М.: Наука, 1991. 189 с.

Карпатское землетрясение 1986 г. // Под редакцией А.В. Друмя и др. Кишинев: Штиинца, 1990. 335 с.

Котляр П.Е., Ким В.И. Положение полюса и сейсмическая активность Земли. Новосибирск: ОИГГМ СО РАН, 1994. 126 с.

Кропоткин П.Н. Возможная роль космических факторов в геотектонике // Геотектоника. 1970. № 2. С. 30-76.

Куццов А.В. Изменение характера геоакустической эмиссии в связи с землетрясением на Камчатке // Физика Земли. 2005. № 10. С. 1-7.

Ламакин В.В. О периодичности байкальских землетрясений // ДАН СССР. 1966. Т. 170. № 2. С. 210-213.

Леонов В.Л. О возможности сопоставления вулканической и солнечной активности на примере Большого трещинного Толбачинского извержения // Вулканология и сейсмология. 1979. № 6. С. 62-66.

Линьков Е.М., Петрова Л.Н., Осипов К.С. Сейсмогравитационные пульсации Земли и возмущения атмосферы как возможные предвестники сильных землетрясений // ДАН СССР. 1990. Т. 313. № 5. С. 1095-1098.

Пийп Б.И. Ключевская сопка и ее извержения в 1944-1945 гг. и в прошлом // Труды лабор. вулканол. 1956. Вып. 11. 309 с.

Ризниченко Ю.В. Избранные труды. Проблемы сейсмологии. М.: Наука, 1985. 408 с.

Родкин М.В. Прогноз непредсказуемых катастроф // Вокруг света. 2008. №6. С. 88-100.

Руленко О.П. Некоторые особенности проявления аномалий электрического поля в приземной атмосфере перед землетрясениями // Геодинамика и вулканизм Курило-Камчатской островодужной системы / Отв. ред. Б.В. Иванов. Петропавловск-Камчатский: ИВГиГ ДВО РАН, 2001. С. 75-81.

Руленко О.П. Тензочувствительность предсейсмических отрицательных аномалий электрического поля в приземном воздухе // Сборник трудов Пятой Международной конференции по атмосферному электричеству. Т. 2. Владимир: «Транзит ИКС», 2003. С. 82-85.

Руленко О.П., Дружин Г.И., Вершинин Е.Ф. Измерение электрического поля перед камчатским землетрясением 13.11.1993 г., $M = 7.0$ // Докл. РАН. 1996. Т. 348. №6. С. 814-816.

Руленко О.П., Иванов А.В., Шумейко А.В. Краткосрочный атмосферно-электрический предвестник камчатского землетрясения 6.03.1992 г., $M = 6.1$ // Докл. РАН. 1992. Т. 236. № 6. С. 980-982.

Серафимова Ю.К. О связи сильных ($M_w \geq 7.5$) землетрясений Камчатки с солнечной активностью // Геофизический мониторинг Камчатки. Материалы научно-технической конференции 17-18 января 2006 г., г. Петропавловск-Камчатский. Петропавловск-Камчатский: «Оттиск», 2006. С. 171-177.

Сидорин А.Я. Предвестники землетрясений. М.: Наука, 1992. 192 с.

Соболев Г.А. Основы прогноза землетрясений. М.: Наука, 1993. 313 с.

Сытинский А.Д. Современные тектонические движения как одно из проявлений солнечной активности // Геомагнетизм и аэрономия. 1963. Т. III. № 1. С. 26-43.

Сытинский А.Д. О зависимости глобальной и региональной сейсмичности Земли от фазы 11-летнего цикла солнечной активности // ДАН СССР. 1982. Т. 265. № 6. С. 1350-1353.

Сытинский А.Д. О связи землетрясений с солнечной активностью // Физика Земли. 1989. № 2. С. 13-30.

Фирстов П.П., Широков В.А. Динамика молекулярного водорода и ее связь с геотектоническими процессами на Петропавловск-Камчатском геодинамическом полигоне по данным наблюдений в 1999–2003 гг. // Геохимия. 2005. № 11. С. 1151-1160.

Шебалин Н.В. Сильные землетрясения. М.: Изд-во Академии горных наук, 1997. 542 с.

Широков В.А. Космос и вулканы // Человек и стихия. Л.: Гидрометеиздат, 1973. С. 26-28.

Широков В.А. Влияние космических факторов на геодинамическую обстановку и ее долгосрочный прогноз для северо-западного участка Тихоокеанской тектонической зоны // Вулканизм и геодинамика / Отв. ред. Г.П. Авдейко, С.А. Федотов. М.: Наука, 1977. С. 103-115.

Широков В.А. Влияние 19-летнего лунного прилива на возникновение больших камчатских извержений и землетрясений и их долгосрочный прогноз // Геологические и геофизические данные о БТТИ 1975-1976 гг. / Отв. ред. С.А. Федотов, Е.К. Мархинин. М.: Наука, 1978. С. 164-170.

Широков В.А. О связи извержений вулканов с тектоническими землетрясениями Камчатки // Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата физ.-мат. наук. Петропавловск-Камчатский. 1980. 19 с.

Широков В.А. Некоторые вопросы методики комплексного прогноза побочных извержений вулкана Ключевского (Камчатка) // Вулканология и сейсмология. 1985. № 6. С. 48-58.

Широков В.А. Опыт краткосрочного прогноза времени, места и силы камчатских землетрясений 1996-2000 гг. с магнитудой $M = 6-7.8$ по комплексу сейсмологических и геофизических данных // Геодинамика и вулканизм Курило-Камчатской островодужной системы / Отв. ред. Б.В. Иванов. Петропавловск-Камчатский: ИВГиГ ДВО РАН, 2001. С. 95-116.

Широков В.А. Влияние космических факторов на возникновение сильных извержений вулканов Земли и проблема их долгосрочного прогноза // Материалы ежегодной конференции, посвященной Дню вулканолога, 27-29 марта 2008 г., г. Петропавловск-Камчатский. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2008а. С. 305-314.

Широков В.А. Разработка новых методов долгосрочного прогноза вулканических извержений на основе изучения влияния на них космических факторов // Материалы ежегодной конференции, посвященной Дню вулканолога, 27-29 марта 2008 г., г. Петропавловск-Камчатский. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2008б. С. 315-322.

Широков В.А., Руленко О.П. Новая методика исследования и сопоставления вариаций скорости сеймотектонического движения и динамики электрического поля в приземном воздухе // Солнечно-земные связи и предвестники землетрясений: IV междунар. конф., с. Паратунка Камч. обл., 14-17 авг. 2007 г. Сб. докл. Петропавловск-Камчатский: ИКИР ДВО РАН, 2007. С. 211-217.

Широков В.А., Серафимова Ю.К. О связи 19-летнего лунного и 22-летнего солнечного циклов с сильными землетрясениями и долгосрочный сейсмический прогноз для северо-западной части Тихоокеанского тектонического пояса // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2006. № 2. Выпуск № 8. С. 120-133.

Широков В.А., Серафимова Ю.К. Методика прогноза сильных землетрясений с магнитудой $M \geq 7.6$ и оценка ее эффективности для различных регионов Земли // Солнечно-земные связи и предвестники землетрясений: IV междунар. конф., с. Паратунка Камч. обл., 14-17 авг. 2007 г. Сб. докл. Петропавловск-Камчатский: ИКИР ДВО РАН, 2007. С. 482-489.

Широков В.А., Серафимова Ю.К. Прогноз сильных извержений вулканов Тихоокеанского тектонического пояса на ближайшие 20 лет на основе применения метода фазовых траекторий // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2008. № 2. Выпуск № 12. С. 201-210.

Широков В.А., Фирстов П.П. О возможности краткосрочного прогноза землетрясений Земли с $M \geq 7$ по данным изменений индекса геомагнитной возмущенности // Солнечно-земные связи и предвестники землетрясений: III междунар. конф., с. Паратунка Камч. обл., 16-21 августа 2004 г. Сб. докл. Петропавловск-Камчатский: ИКИР ДВО РАН, 2004. Ч. I. С. 142-150.

Широков В.А., Фирстов П.П., Широкова Н.В. Разработка методов краткосрочного прогноза землетрясений, цунами и извержений вулканов Камчатки по сейсмологическим и геофизическим данным // Отчет по НИР за 2001-2005 гг., гос. рег. № 01.200.010561. Науч. рук. В.А. Широков. Петропавловск-Камчатский. 2006. 85 с.

Hamilton W.L. Tidal Cycles of Volcanic Eruptions: Fortnightly to 19 Yearly Periods // JGR. 1973. V. 78. № 17. P. 3356-3362.