

ЛИТЕРАТУРА

1. Li, S., Mooney, W., D., Fan, J., 2006. Crustal structure of mainland China from deep seismic sounding data. // *Tectonophysics* 420, 239–252.
2. Yoo, H., Herrmann, R., Cho, K., Lee, K., 2007. Imaging the Three-Dimensional Crust of the Korean Peninsula by Joint Inversion of Surface-Wave Dispersion and Teleseismic Receiver Functions. // *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 97, No. 3, pp. 1002-1010.
3. Gupta, S., et al., 2003. The nature of the crust in southern India: Implications for Precambrian crustal evolution. // *GRL* vol 30,8,1419-1429.
4. Kumar, R., Saul, J., Sarkar, D., Kind, R., Shukla, A., 2001. Crustal structure of the Indian Shield: New constraints from teleseismic receiver functions. // *GRL* vol 28,7,1339-1342.
5. Dennis E. Hayes, Susan S. Nissen, 2005. The South China sea margins: Implications for rifting contrasts. // *Earth and Planetary Science Letters* 237, 601-616.
6. Mohsen, A., Kind, R., Sobolev, S., Weber, M., 2006. Thickness of the lithosphere east of the Dead Sea Transform. // *Geophys. J. Int.*, 167, 845-852

**ПРОЦЕССЫ В ЗЕМНОЙ КОРЕ И ВЕРХНЕЙ МАНТИИ:
ПРОБЛЕМЫ ГОРООБРАЗОВАНИЯ И НОВЕЙШИХ ПОДНЯТИЙ ЗЕМНОЙ КОРЫ**

Баренбаум А.А.

ИПНГ РАН, г.Москва, azary@mail.ru

ФАКТИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ

Известно, что процессы горообразования в истории Земли носили циклический характер, резко усиливаясь в эпохи так называемых орогенических фаз Штилле [1]. Последняя из них пришлась на период от 5 до 2 млн. лет назад. Именно в это плиоцен-четвертичное время происходило почти синхронное вздымание земной коры на половине площади континентов. Сильный подъем тогда испытали Центральная и Северо-восточная Азия, большая часть Африки, западные части Северной и Южной Америк, Гренландия, Урал, Скандинавские горы, Сибирская платформа, горы Альпийского пояса, Тибет, Гвианский и Бразильский щиты и др. Высота поднятий сильно варьировала. На большей части побережья Тихого океана она составила первые сотни метров, на Сибирской платформе 200-1000 м, в Южной Африке 300-400 м на западе и 900-1200 м на востоке. Интенсивно вздымается Антарктический континент. Наиболее быстрый рост шел в горной местности. Так, Аравийская платформа увеличила высоту на ~2 км, Альпы поднялись на ~3 км, а Гималаи выросли на ~6 км [2]. Под большинством гор отмечается значительный подъем астеносферы, сопровождаемый в ряде мест интенсивным излиянием магмы.

ПРОБЛЕМА НОВЕЙШИХ ПОДНЯТИЙ

По мнению Е.В. Артюшкова, причиной новейших поднятий является частичное разрушение континентальной литосферы, и ее замещение менее плотной и более горячей астеносферой. По его расчетам толщина замещаемого слоя пород литосферы составляет в среднем ~100 км. Вязкость вещества в замещаемом слое понижается, по крайней мере, на 4 порядка величины, а его температура повышается на сотни градусов. Поднятия коры В.А. Артюшков [3] связывает с плюмами [4], поступающими из слоя D'' на границе земного ядра и нижней мантии. Предполагается, что в плюмах имеются горячие флюиды, которые за время ~1 млн. лет растекаются в нижней части литосферы в слое толщиной в десятки километров и площадью тысячи км². Эти флюиды нагревают и понижают вязкость вещества низов земной коры и вызывают в породах фазовые переходы.

В.Г. Трифонов [5] называет иную причину поднятий. Ею он считает «энергетические автоколебания развития Земли, которые периодически повышали вклад нижней мантии в тектонические процессы и усиливали контрастность вертикальных движений».

Сложной в известных гипотезах является проблема источника энергии, необходимой для обеспечения новейших поднятий. Оценки показывают, что для нагрева на 250 градусов ~100 км слой континентальной литосферы на ~10% площади Земли и затем подъема слоя земной коры на высоту ~1 км требуются энергия ~10²⁷ Дж. Эта величина много выше современного энерговыделения Земли. Откуда взялась эта огромная энергия в плиоцен-четвертичное время, гипотезы В.Г. Трифонова и Е.В. Артюшкова ответа не дают. Кроме того, в последней гипотезе спорно предположение о синхронном подъеме плюмов по всему земному шару от внешней границы земного ядра за время ~1 млн. лет.

В работах [6, 7] нами развит новый подход к объяснению причины данного явления.

НОВОЕ РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ

Согласно развиваемым представлениям, поднятия земной коры в плиоцене, как и сами орогенные фазы Штилле, а также более крупные тектонические циклы Вилсона и Бертрена, вызваны бомбардировками Земли галактическими кометами [7].

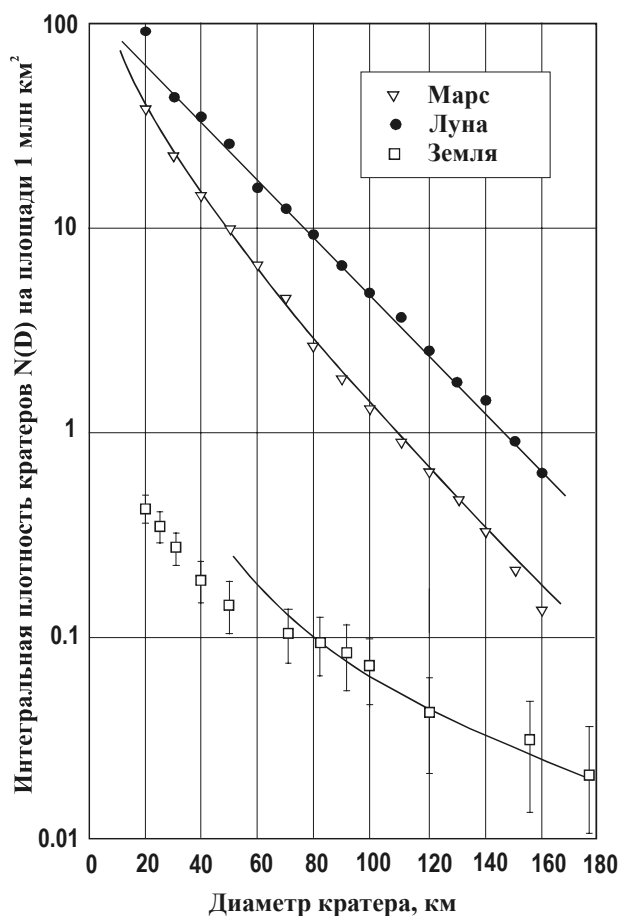
Сегодня установлено, что при движении в Галактике Солнце через каждые 20-37 млн. лет пересекает струйные потоки газопылевого вещества, истекающего из галактического ядра. В такие эпохи длительностью $\sim 2 \div 5$ млн. лет планеты Солнечной системы подвергаются бомбардировкам галактическими кометами. На эти эпохи приходятся крупнейшие природные катастрофы Земли (геологические, климатические и биотические), выступающие границами стратонов шкалы фанерозоя [6]. Последняя бомбардировка имела место на неоген-четвертичной границе шкалы в период от 5 до 1 млн. лет назад, который практически совпадает с эпохой новейших поднятий.

Галактические кометы – это ранее неизвестный класс космических тел, выпадающих на планеты исключительно в эпохи пребывания Солнца в струйных потоках. Сегодня эти объекты недоступны астрономическим наблюдениям. Падения их носят характер ливней, когда за одну бомбардировку на Землю (и другие планеты) может выпасть $\sim 10^4$ - 10^7 таких комет. Состоят они в основном из водяного льда и замерзших углеводородных газов с примесью более тяжелых химических элементов. Ядра галактических комет имеют размеры от ~ 100 до 3500 м, масса их меняется в пределах 10^{12} - 10^{17} г, а энергия 10^{20} - 10^{25} Дж.

Подсчитано, что за один кометный ливень на Землю поступает как раз $\sim 10^{27}$ - 10^{28} Дж энергии, сколько требуется. Вопрос в том, каким образом эта энергия трансформируется в наблюдаемые поднятия земной коры? Для ответа обратимся к фактам, относящимся не только к Земле, но и к другим планетам Солнечной системы.

ДРУГИЕ ПЛАНЕТЫ

Согласно [6], при падении галактических комет на планеты без атмосферы (Меркурий, Луна) и с атмосферой (Земля, Венера) образуются совершенно разные структуры. В первом случае в месте удара кометы возникает кратер $\sim 10 \div 250$ км в диаметре. Такие кратеры отличаются от кратеров, созданных астероидами и



кометами Солнечной системы, большей численностью, сложным строением, экспоненциальным распределением по диаметрам (рис. 1), асимметричным положением относительно экватора планеты (рис. 2) и временем образования. Во втором случае в атмосфере планеты комета полностью разрушается. И ее огромная кинетическая энергия передается гиперзвуковой ударной волне, которая не способна образовать кратер. Преодолев толщу пород в сотни километров, эта ударная волна отдает энергию породам, вызывая их нагрев и частичное плавление. Это и создает эффект «вспучивания» твердой поверхности планеты.

Проиллюстрируем сказанное на примере Марса. Обладая в $\sim 10^3$ раз меньшей массой атмосферы, чем у Земли, Марс проявляет оба эффекта сразу (см. рис. 2). Рельеф поверхности Марса позволяет говорить о наличии на этой планете двух совершенно разных полушарий: «континентального» – густо покрытого кратерами, и «морского» – представленного гладкими равнинами. Поверхность первого приподнята относительно второго на высоту 4-5 км. Оба полушария разделены резкой тектонической границей шириной ~ 300 км [9].

Рис. 1. Интегральные распределения плотности кратеров Луны, Марса и Земли по диаметрам [13].

Более низкая плотность кратеров на Марсе по сравнению с Луной вызвана частичной потерей массы галактическими кометами в марсианской атмосфере. Кратеры нашей планеты вызваны падениями астероидов. Кривая линия для них отвечает обратно пропорциональной квадратичной зависимости. Область малых диаметров искажена наблюдательной селекцией.

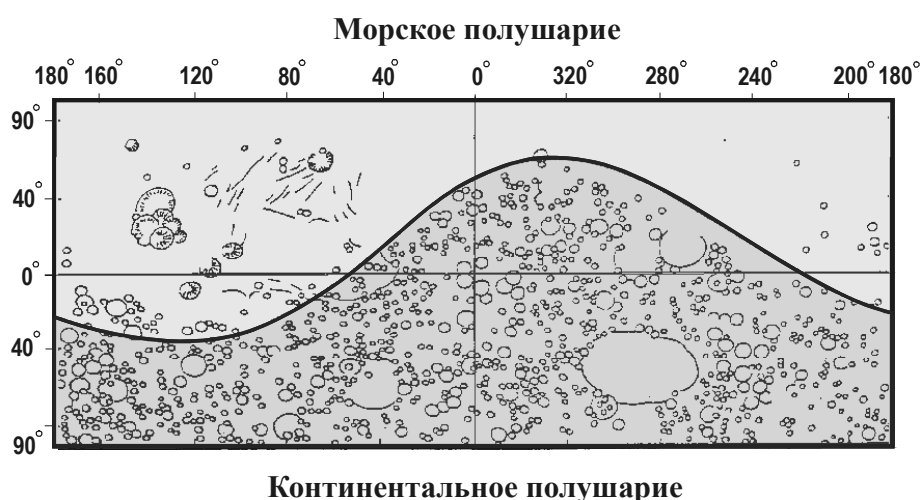


Рис. 2. Морфология строения поверхности Марса [8].

Разделительная линия – положение границы континентального (южного) и морского (северного) полушарий планеты. Граница получается как след сечения сферической поверхности Марса плоскостью, наклоненной к оси вращения планеты под углом 45° . Континентальное полушарие сплошь покрыто кратерами. Морское полушарие в целом представляет слабо кратерированные равнины [9].

При современном наклоне оси вращения Марса к галактической плоскости кометам доступна лишь южная часть планеты. Северная ее часть на протяжении последних 50-70 млн. лет не испытывала удары комет. За это время процессы тектонической релаксации успели нивелировать ее поверхность. Число кратеров здесь мало и большинство их создано астероидами. Кратеры континентального полушария, наоборот, образованы галактическими кометами. Причем плотность кратеров достигает насыщения. В подавляющем большинстве они возникли при последней кометной бомбардировке.

Расчеты показывают, что под континентальной полусферой Марса должен находиться слой сильно разогретых пород. Толщина этого слоя астеносферы достигает $100\div 250$ км. При движении Солнца в Галактике угол наклона оси вращения Марса к галактической плоскости через время ~ 150 млн. лет меняется на противоположный. В результате, слой астеносферы перемещается из южной в северную полусферу Марса. И, как следствие, морское и континентальное полушария планеты меняются местами.

ЗЕМЛЯ

Сходные явления происходят и на нашей планете, где для их изучения можно привлечь дополнительную геологическую информацию (рис. 3). На Земле почти вся энергия галактических комет идет на нагрев астеносферы. При этом образование суперконтинентов и их распад в эпохи кульминаций тектонических циклов Бертрана и Вилсона оказываются связанными с движением Солнца в Галактике. Вследствие особенностей этого движения южное полушарие получало кометной энергии больше, чем северное. Поэтому именно здесь формировались Пангея и Паннотия. Становление нового суперконтинента происходит, по-видимому, и сегодня, на что указывает быстрое вздымание Антарктиды [2].

При падении комет не на «толстые» материковые плиты, а на «тонкую» океаническую литосферу возникают [6] подводные горы. Это действующие вулканы высотой более 500 м, достаточно равномерно покрывающие все океанское дно. Их общее количество в Мировом океане $\sim 10^6$, распределение по размерам носит экспоненциальный характер и, также как кратеры на планетах без атмосферы, они избегают северной полюсной области Земли [12]. Имеются основания полагать [13], что падение кометы в океан приводит к образованию под дном на глубинах $\sim 10\text{-}50$ км магматической камеры. Объем камер под подводными горами $\sim 10^4\div 10^5$ км³, а степень плавления в них вещества $\leq 10\%$ [14]. Из-за разности плотностей породы и расплава в камере возникает избыточное давление, которое заставляет магму по каналу ослабленных пород, созданному кометной ударной волной, подниматься наверх. Так как время жизни камер ≥ 100 млн. лет [14], течение магмы может продолжаться 180 млн. лет существования ложа современных океанов, приводя к наблюдаемому росту подводных гор.

Часть энергии галактических комет идет и на общий нагрев пород астеносферы под океанами, вызывая поднятие дна. Этот эффект сегодня инструментально измерен для южной полусферы нашей планеты. По данным GPS средний радиус южной полусферы Земли растет на 1.5 мм/год, что увеличивает ее объем на 553 ± 2 км³/год [15]. Северное полушарие не обнаруживает роста. Тем самым у Марса и Земли южное полушарие имеет больший радиус, чем северное. Причем его величина, по крайней мере, у нашей планеты продолжает расти.

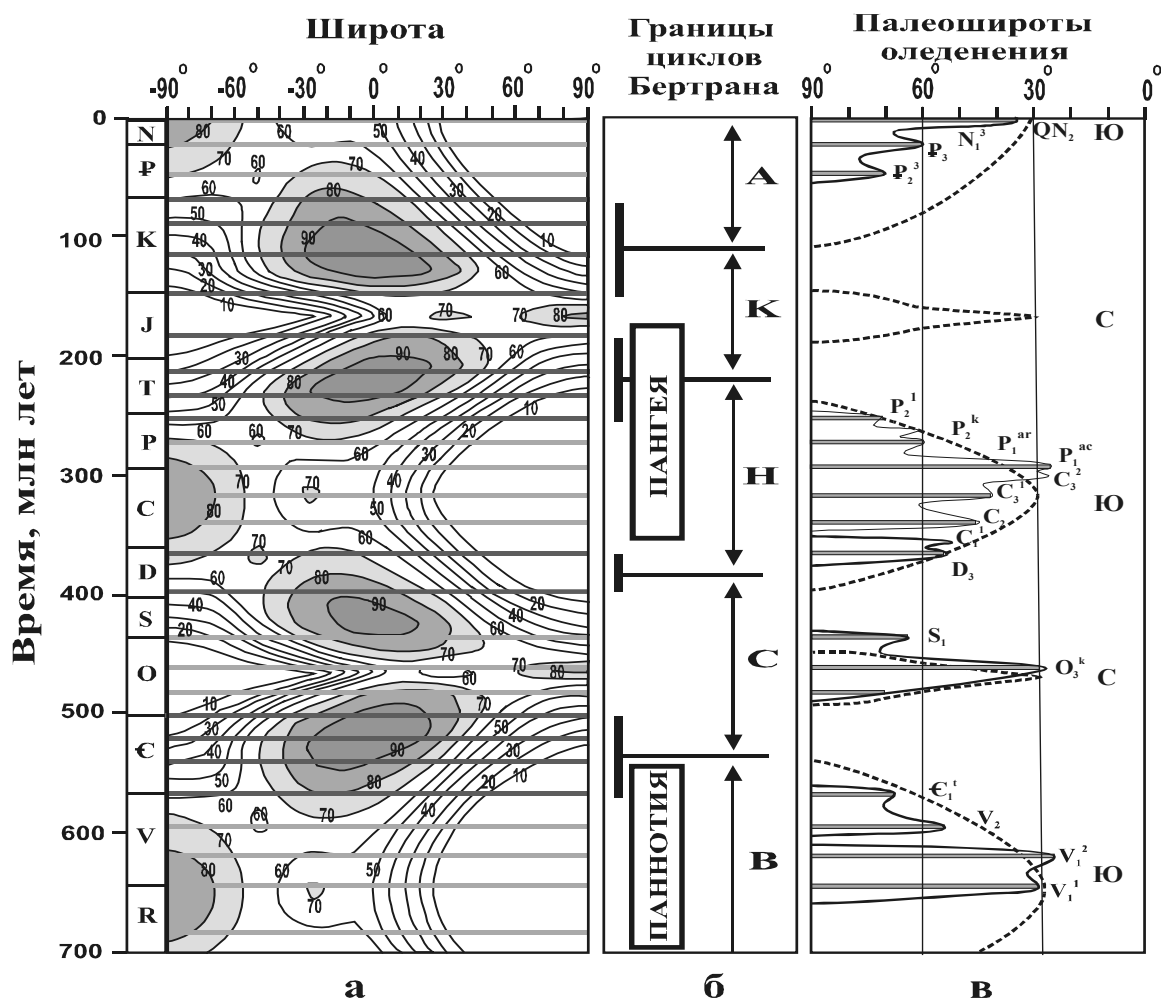


Рис. 3. Сопоставление плотности падений на Землю галактических комет – (а) с границами циклов Бертрана [1] и временами существования суперконтинентов Пангея и Паннотии [10] – (б) и палеоширотами распространения ледниковых покровов [11] – (в).

Цифры у линий изоденс (рис. а) – проценты максимальной интенсивности. Узкими горизонтальными полосами показаны периоды кометных бомбардировок. Линии изоденс вне полос не имеют физического смысла. Более густым цветом выделены эпохи кометных бомбардировок, отвечающие границам циклов Бертрана [1]: В – байкальского, С – каледонского, Н – герцинского, К – киммерийского, А – альпийского. Сплошные линии (рис. в) – фактические данные [11], пунктирные линии – расчетная граница широтного распространения области кометных падений. Буквами С и Ю обозначены оледенения, вызванные кометными бомбардировками северной и южной полярных областей Земли.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Можно согласиться с доводами Е.В. Артюшкова о значительном нагреве и размягчении слоя пород литосферы под новейшими поднятиями земной коры, а также возможном преобразовании низлежащих пород астеносферы за счет процесса эклогизации. Однако считать причиной этого явления «особый вид мантийной конвекции» [2], связанной с подъемом флюидов от внешней границы земного ядра, представляется мало обоснованным.

Изложенные результаты позволяют предполагать, что новейшие поднятия земной коры, как и разогрев подстилающей кору астеносферы, вызваны падениями галактических комет. Согласно наблюдениям, астеносферный слой не носит повсеместного распространения. Со временем он может перемещаться из одной полушеры планеты в другую, предопределяя ход протекания региональных тектонических процессов [7].

ЛИТЕРАТУРА

1. Хаин В.Е. Крупномасштабная цикличность в тектонической истории Земли и ее возможные причины // Геотектоника. 2000. №6, С.3-14.
2. Артюшков Е.В. Физическая тектоника. М.: Наука. 1993. 456 с.

3. Артющков Е.В. Новейшие поднятия земной коры на континентах как следствие резкого размягчения мантийной литосферы и ее замещения астеносферой // Общие и региональные проблемы тектоники и геодинамики. Материалы XLI Тектонического совещания. Т.1. М. ГЕОС. 2008. С.31-34.
4. Добрецов Н.Л., Кирдяшкин А.Г., Кирдяшкин А.А. Физико-химические условия на границе ядро-мантия и образование термохимических плюмов // ДАН. 2003. Т.393. №6. С.797-801.
5. Трифонов В.Г. Возраст и механизмы новейшего горообразования // Общие и региональные проблемы тектоники и геодинамики. Материалы XLI Тектонического совещания. Т.2. М. ГЕОС. 2008. С.349-353.
6. Баренбаум А.А. Галактика, Солнечная система, Земля. Соподчиненные процессы и эволюция. М.: ГЕОС. 2002, 393 с.
7. Баренбаум А.А., Хаин В.Е., Ясаманов Н.А. Крупномасштабные тектонические циклы: интерпретация с позиций галактической концепции // Вестник Моск. Ун-та, Сер.4. Геология. 2004. №3. С.3-16.
8. Shaded relief map of Mars. 1:25000000. 1972.
9. Казимиров Д.А. Десимметрия планет земной группы и спутников и основные фазы их развития // Вопросы планетарного тектогенеза. Тематический сборник: Тр. ГИН. М. 1977. Вып.1. С.23-66.
10. Божко Н.А. Суперконтинентальная цикличность в тектоническом развитии литосферы // Тектоника и геодинамика континентальной литосферы. Материалы 36-го Тектонического совещания. Т.1. М.: ГЕОС. 2003, с.56-60.
11. Чумаков Н.М. Периодичность главных ледниковых событий и их корреляция с эндогенной активностью Земли // Докл. РАН. 2001. Т.378, №5, с.656-659.
12. Ильин А.В. Изменчивый лик глубин. Проблемы изученности дна океана. М. 1996. 186 с.
13. Баренбаум А.А. Подводные горы как области современного магматизма. Причина и механизм их возникновения // Области активного тектогенеза в современной и древней истории Земли. Материалы XXXIX Тектонического совещания. Т.1. М.: ГЕОС. 2006. С.33-37.
14. Добрецов Н.Л., Кирдяшкин А.Г., Кирдяшкин А.А. Глубинная геодинамика. Новосибирск: СО РАН. Фил. ГЕО. 2001. 409 с.
15. Баркин Ю.В. Механизм возрастания среднего уровня океана и решение «attribution problem» // Геология морей и океанов. Материалы XVII Международной научной конференции по морской геологии. Т. IV. М.: ГЕОС. 2007. С.21-23.

МАЛОГЛУБИННАЯ СЕЙСМОРАЗВЕДКА В КОМПЛЕКСЕ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ И ПОИСКОВЫХ РАБОТ

Басакина И.М.¹, Антоновская Г.Н.², Басакин Б.Г.³

¹Архангельский научный центр УрО РАН, г. Архангельск, ibasakina@yandex.ru

² Институт экологических проблем Севера УрО РАН, г. Архангельск, gala-new@yandex.ru

³Филиал ОАО «Хантымансийскгеофизика» многопрофильная геофизическая экспедиция, г. Хантымансийск, bgboris@yandex.ru

Диагностика состояния инженерных сооружений комплексом геофизических методов подразумевает обследование как состояния конструкций здания, так и его фундамента, основания и подстилающих грунтов. Для объектов в Архангельской области был опробован комплекс геофизических методик, включающий как основные: способ сейсмометрических измерений на сооружениях с оценкой их конструктивной целостности, разработанный сотрудниками ИЭПС УрО РАН и ИФЗ РАН [5] и сейсморазведочный метод преломленных волн (МПВ) в невзрывной модификации.

Сейсморазведочные работы проводились 12-канальной сейсмостанцией GEODE фирмы Geometrics. Применялся механический источник возбуждения сигнала (удары кувалдой по металлической пластине). Сейсморазведочный метод преломленных волн опирается на анализ кинематики первых вступлений, представленных преломленными волнами, связанных с границами, характеризующимися различными граничными скоростями. Одним из условий применения данного метода является увеличение скорости продольных волн с глубиной [1, 2]. Обработка проводилась с использованием программы RadExPro. На первом этапе важен анализ структуры регистрируемых годографов, в частности установление числа самостоятельных элементов годографа, т. е. числа выделенных сейсмических волн, координат точек смены волн и определение типа выделенных волн. Задача состоит в том, чтобы, накопив некоторый опыт, определять по изменению характеристик волнового поля изменения геолого-геофизического разреза.

Начиная с 2004 г., комплексом методик при решении инженерно-геологических задач были отработаны участки полигонных исследований на большом Соловецком острове, на территории музея заповедника «Малые Корелы». Применение сейсмометрического метода измерений на сооружениях показало изменения частот колебаний основных форм, характеризующих состояния объектов. Причина этого не всегда понятна. На территории большого Соловецкого острова идет увеличение техногенной вибрационной нагрузки на окружающую среду, связанной с работой аэропорта, дизельной электростанции, водного и наземного транспорта; реконструкцией причала, строительством и реставрацией жилых и исторических комплексов, прокладкой современных инженерных коммуникаций. Все это вызывает различные процессы изменения в геологической среде, инициируемых набором