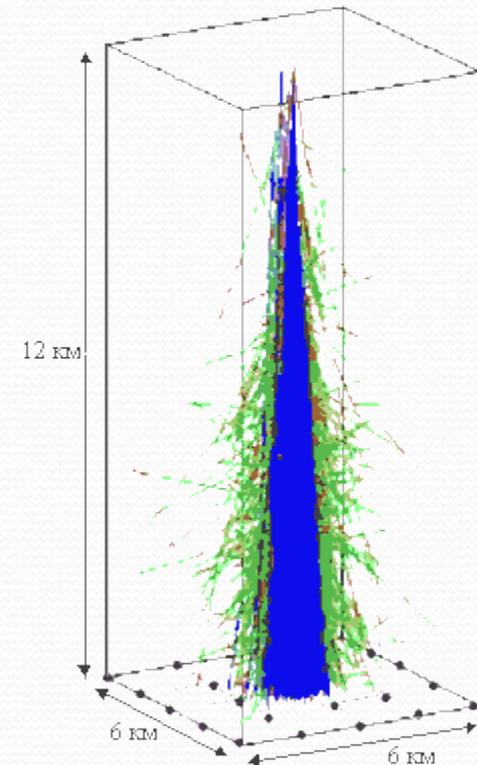
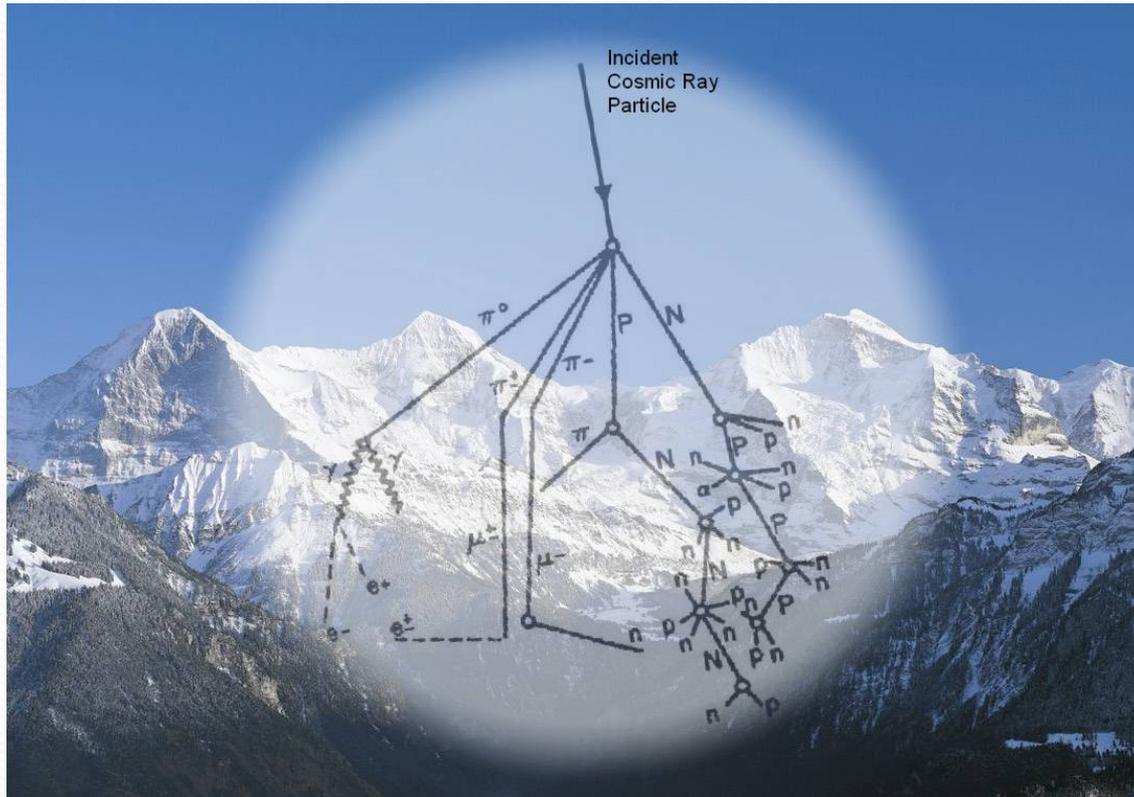




С воздействием проникающих космических лучей  
связаны **широкие атмосферные ливни** - резкое увеличение проводимости и  
радиоактивности атмосферы, влияющее на активизацию процесса формирования  
облаков и осадков



**Но есть потоки Нейтронов из недр Земли!** В исследованиях, проводившихся в течение ряда лет на шарах-зондах в атмосфере Земли в НИИЯФ МГУ, была обнаружена анизотропия потоков тепловых нейтронов (см: Кужевский Б. М., Нечаев О. Ю., Шаврин П. И. Анизотропия тепловых нейтронов в атмосфере // Геомагнетизм и аэронавигация. 1995. 32, № 2. С. 166-170.). Оказалось, что на высотах до 3—5 км поток нейтронов, направленный от Земли, существенно превышал поток к Земле (среднее значение анизотропии для этих высот составляло  $0,6 \pm 0,2$ ).

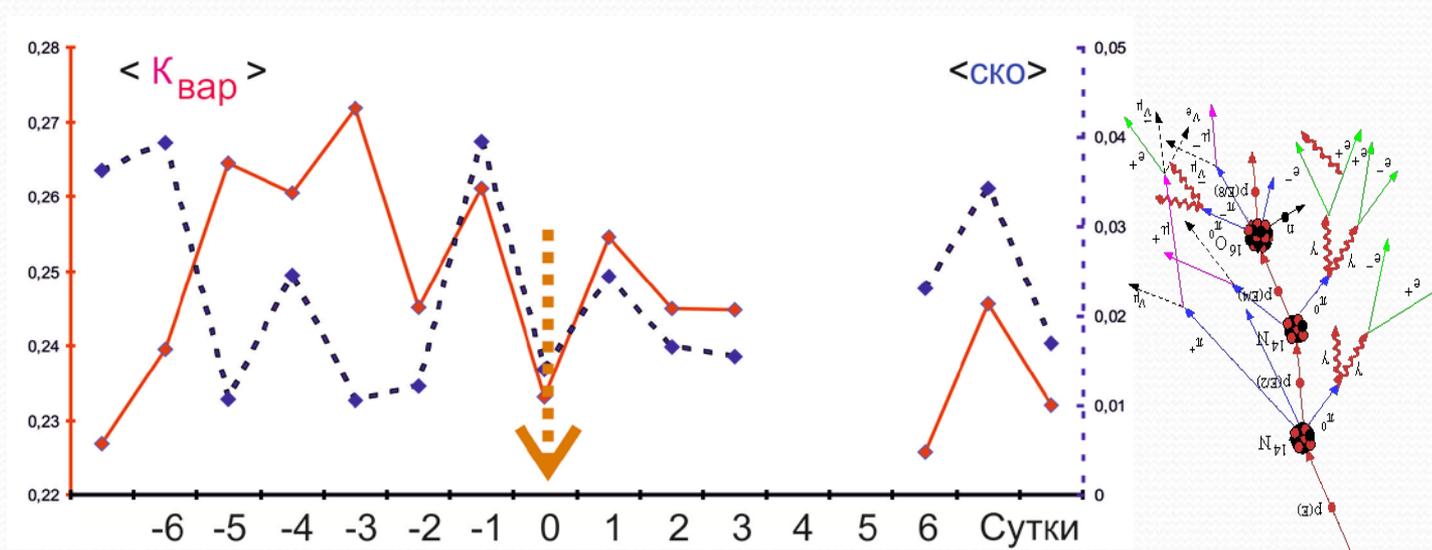
В 2020 г. на основе опыта конструирования и эксплуатации действующих макетов-аналогов был создан счетчик тепловых нейтронов («СТН») и АПК УСТН-1 («Устинья»), предназначенный для измерения плотности потока тепловых нейтронов (с энергией 0,02 – 0,5 эВ). В состав АПК включены уникальные эмпирические модели с усвоением данных наблюдений и от мировых наблюдательных наземных сетей NMDB и Radmon. Основой технологии стали результаты исследований 2002-2019 годов по мониторингу нейтронного поля на территории РФ и Мирового океана у поверхности Земли и на высотах до 12 км.

### Задачи АПК:

- 1) контроль аномалий вторичных космических лучей в виде локальных «Форбуш-эффектов» и так называемых локальных «GLE-событий»;
- 2) получение данных для оперативной коррекции граничных условий моделей радиоактивности в атмосфере и расчета радиационной нагрузки при авиаперелетах;
- 3) исследования потенциальных предвестников сейсмической активности;
- 4) проведение маршрутных съемок и условий радиационной безопасности объектов и территорий, сложных для гамма-радиационной разведки;
- 5) формирование независимой наземной информационной подсистемы мониторинга космической погоды.

В УСТН использован сцинтилляционный принцип регистрации на основе комплекса датчиков заполненных  $^3\text{He}$  типа СМ18 (наполнение 97%  $^3\text{He}$ , 3% Ar, 405 кПа). Эти датчики хорошо показали себя в прототипах, уверенно регистрируя попавшие на них тепловые нейтроны с практически отсутствующим энергетическим порогом реакции. С помощью 8 датчиков, объединенных на платформе микропроцессора, была достигнута чувствительность измерений до 180 имп с/нейтрон. Размеры датчика составляли 80x70 мм.

В 2021 г. вблизи Анапы произошло пять слабых подводных землетрясений от 3,5 до 5 баллов [2]: 14.03, 18.04, 28.04, 06.08, 17.09. Они были использованы для формирования «обобщенного портрета» потенциального нейтронного предвестника сейсмической активности. Для повышения однородности и сравнимости анализируемых данных в расчетах использовался коэффициент вариации регистрируемой интенсивности нейтронного потока.

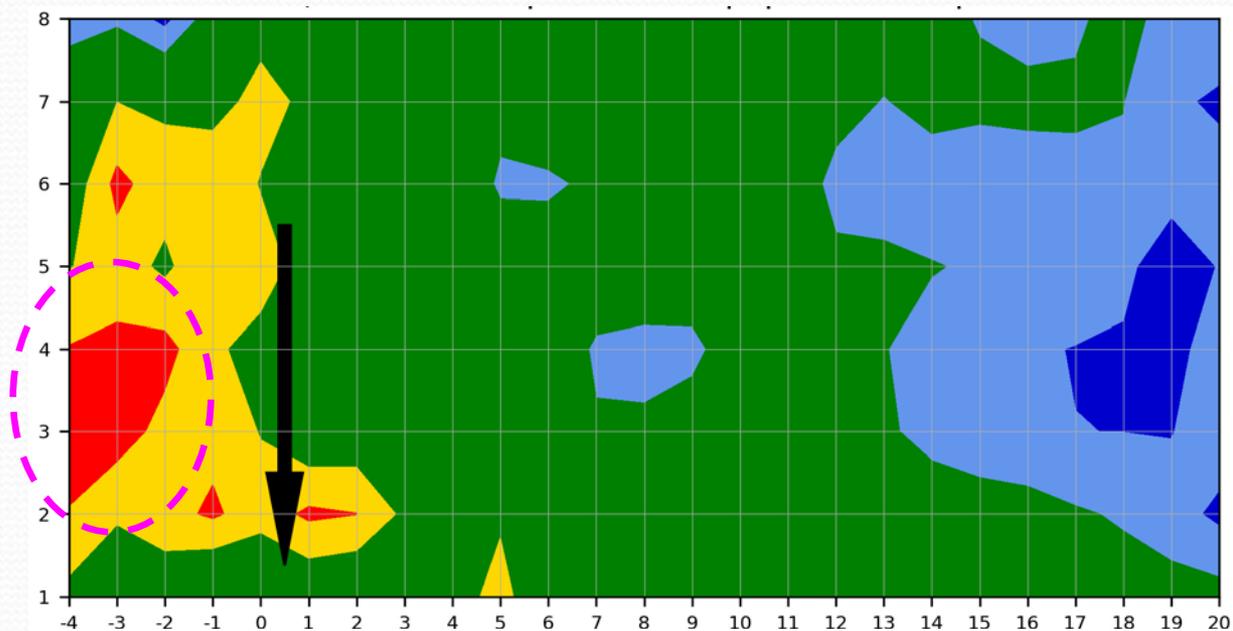


Осредненная оценка коэффициента вариации и его СКО по указанным пяти слабым подводным землетрясениям региона 2021 г.

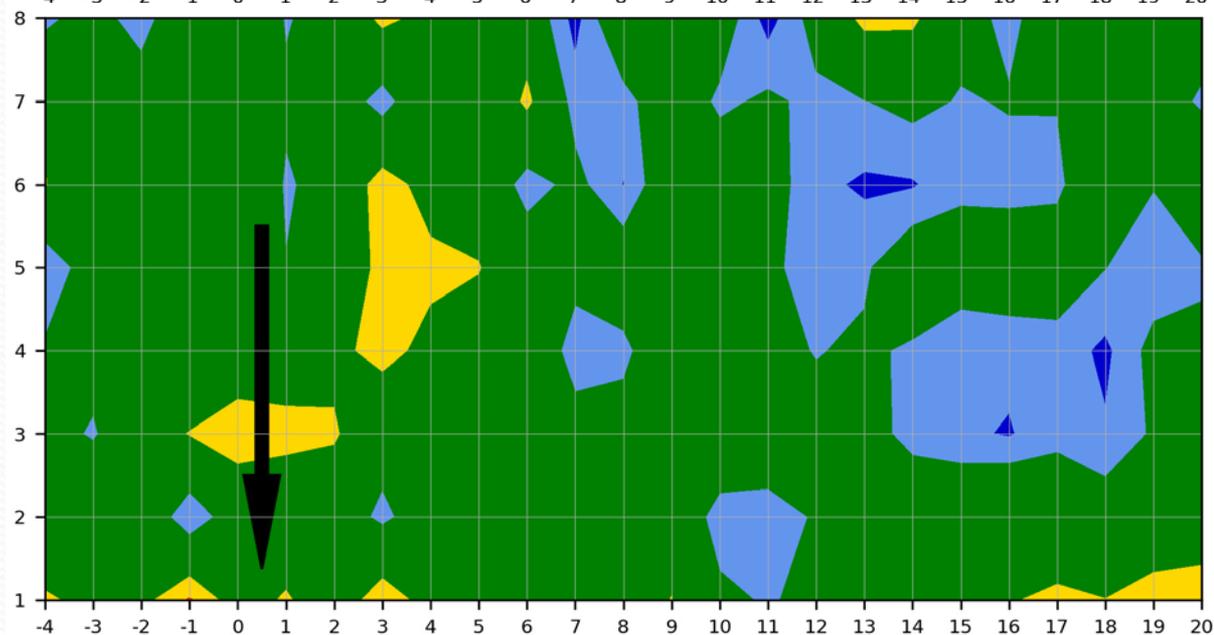
Пропуски в данных после обобщенного землетрясения обусловлены функционированием прибора только в рабочие часы рабочей недели.

Уменьшение СКО за 2-5 суток до землетрясения на фоне увеличения коэффициента вариации нейтронного потока свидетельствует, что этот эффект не случаен.

Возмущений магнитного поля в выбранном интервале наблюдений не было.



Обобщенная по  
5 слабым  
землетрясениям  
амплитудограмма (в  
%) коэффициентов  
вариации потока  
тепловых нейтронов  
(с энергией 0,02 –  
0,5 эВ) в Анапе



СКО для  
обобщенной  
амплитудограммы  
коэффициентов  
вариации потока  
тепловых нейтронов

Относительная амплитуда коэффициента вариации по периоду 4 суток за 2-3 суток до слабого землетрясения уверенно выходит за границы 95% доверительного интервала по критерию Стьюдента. По периоду 3 суток - за 3-4 суток.

Прогностическая значимость аномального увеличения амплитуды вариаций на периодах 3 и 4 суток за 2-3 суток до землетрясения оценивалась в соответствии с рекомендациями **Руководящего документа РД 52.27.284-91 (Методические указания по проведению производственных (оперативных) испытаний новых и усовершенствованных методов гидрометеорологических и гелиогеофизических прогнозов)**, где результаты прогнозирования рекомендуется представить в форме табл., где  $k_{11}$  и  $k_{12}$  количество оправдавшихся и не оправдавшихся прогнозов,  $T_3$  и  $T_4$  – обозначение периодов 3 и 4 суток.

Таблица Форма представления результатов прогнозирования сейсмической активности по аномальным значениям амплитуд периода 3 и 4 суток.

прогноз	факт		$\Sigma$
	да	нет	
да	$k_{11}$ (для $T_3=8, T_4=8$ )	$k_{12}$ ( $T_3=10, T_4=6$ )	$k_{10}$ ( $T_3=18, T_4=14$ )
нет	$k_{21}$ ( $T_3=3, T_4=8$ )	$k_{22}$ ( $T_3=75, T_4=75$ )	$k_{20}$ ( $T_3=78, T_4=83$ )
$\Sigma$	$k_{01}$ ( $T_3=11, T_4=16$ )	$k_{02}$ ( $T_3=85, T_4=81$ )	$k_{00}$ ( $T_3=96, T_4=97$ )

Критерий качества прогнозов Пирси-Обухова  $K = k_{11}/k_{01} - k_{12}/k_{02}$  по данным табл. для аномальных значений периода  $KT_3 = 0,63$ , для  $KT_4=0,43$ . Критерий качества прогнозов Пирси-Обухова [10] в метеорологии и по РД 52.27.284-91 считается наиболее информативным, принимает значения от -1 до +1 и тем больше, чем больше предупреденность прогнозируемого явления. Для тайфунов качество прогнозов считается удовлетворительным при  $K > 0,3$  (0,3 это примерный уровень случайного угадывания). Прогнозы с предиктором на периоде 3 суток почти вдвое превысили уровень прогнозов случайного угадывания. Поэтому указанный предиктор приемлем для оперативных прогностических задач.

При делении выборки на две части, проверочную и прогнозную (с одним случаем землетрясения 17.09.2021 г.) с понижением уровня тревоги по амплитуде периодов 3 и 4 суток не менее 60% от минимакса критерии качества прогнозов Пирси-Обухова  $KT_3=0,57$ ,  $KT_4=0,52$ , а по прогнозной выборке  $KT_3=0,95$ ,  $KT_4=0,95$ .

Сигналы для прогностической практики можно объединить оценкой среднего значения суммы. Результаты оценивания качества прогнозов несущественно изменятся.

По результатам измерений стационарный счетчик тепловых нейтронов обеспечивает оценку сейсмической опасности в радиусе минимум около 150 км.

### **Учет несовершенства прогнозов сейсмической опасности.**

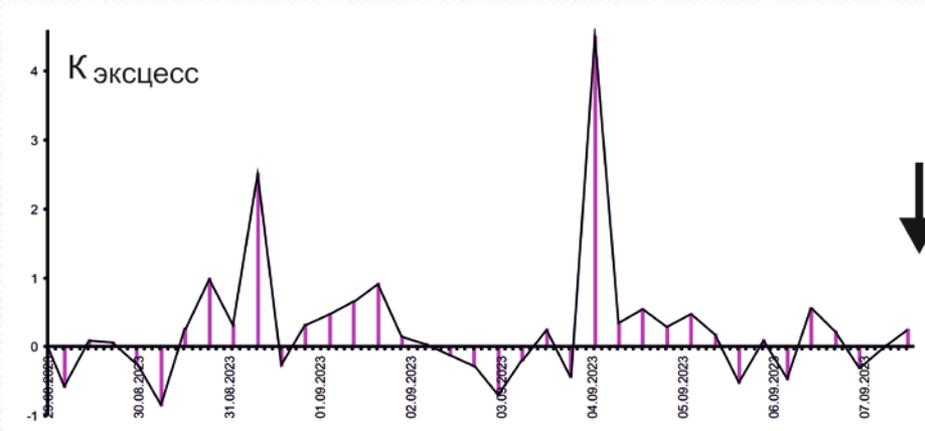
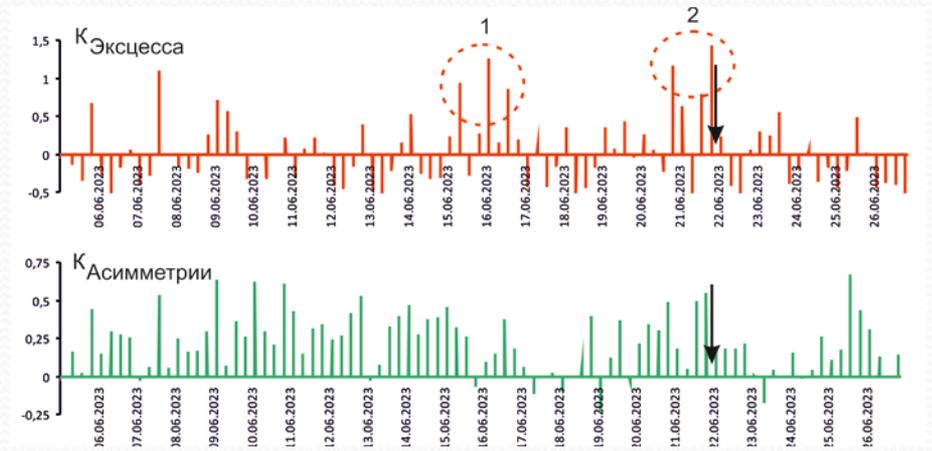
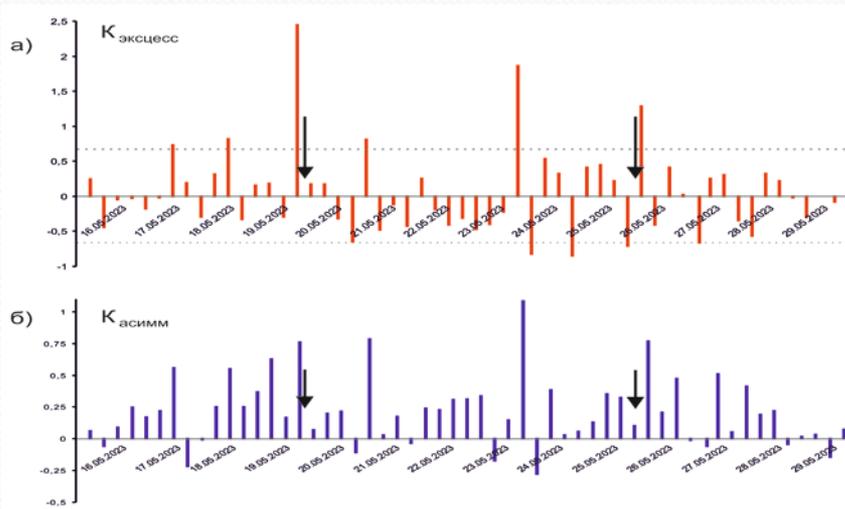
В программе технологического режима функционирования СТН предусмотрена подпрограмма последовательного усвоения оценок вероятности ежедневных предвестников (прогнозов) с критерием превышения порогового значения, после которого генерируется сигнал об угрозе сейсмической опасности. Эта возможность продублирована и в АРМ.

Подпрограмма ориентирована на учет несовершенства прогностических сигналов – предвестников землетрясений. В ней производится последовательное уточнение имеющихся прогностических выводов, которые представляются матрицей со строками – возможными действиями и столбцами – возможными прогностическими выводами. Для решения подобных задач усвоения прогностической информации используются методы теории статистических решений и метод динамического программирования.

Стратегия усвоения утвердительных прогнозов 1-3-дневной сейсмической опасности с 1–3 суточной заблаговременностью этого периода определяется пороговой вероятностью достижения цели (Рдц): если вероятность подтверждения прогнозов сейсмической опасности ( $P$ ) превысит Рдц, то принимается решение о сейсмической угрозе.

В качестве текущей величины  $P$  использовано значение «накопленной повторяемости» подтверждения прогноза  $P_N$  за  $N$ -й день (или этап) измерений. Общее число этапов ограничивается имеющимся временем до момента выдачи окончательного решения о начале сейсмоопасного периода. Первичную оценку вероятности сильного землетрясения можно оценить по данным сейсмического районирования.

Оценки коэффициента эксцесса (а) и асимметрии (б) по шестичасовым наблюдениям с дискретностью 3 минуты. Стрелка – моменты землетрясения.



Оценки коэффициента эксцесса по предыдущим шестичасовым измерениям потока нейтронов с дискретностью 3 минуты и огибающая оценок. Стрелка – землетрясение в Марокко.

## **Итог.**

**В Анапе в 2021 г. при регистрации сверхслабых потоков тепловых (низкоэнергичных) нейтронов у поверхности Земли были получены обобщенные портреты дневного локального Форбуш-эффекта и дневного локального GLE-события. Они соответствуют ФП и GLE-событиям, фиксируемым по сети стационарных «нейтронных мониторов» при мониторинге космических лучей.**

**Разработана технология коррекции нижних граничных условий моделей радиоактивности в атмосфере с помощью измерений СТН для оценивания набранных доз радиации по маршрутам и при перелетах, для работ в среднегорье и высокогорье (спасатели, горные стрелки).**

**Получены оценки **нейтронных предвестников** для пяти близких слабых подводных землетрясений, похоже по потоку тепловых нейтронов «снизу». Предложен алгоритм усвоения предвестников сейсмической опасности.**

**Получены оценки вариаций потока тепловых нейтронов в АНАПЕ  
в мае-июне 2023 г.**

**Полученные результаты могут использоваться для мониторинга космической погоды и сейсмической опасности, планирования работ по модификации облаков.**