

Слайд 1

Добрый день, уважаемые коллеги!

Слайд 2

Моя работа посвящена исследованию короткопериодных колебаний магнитного поля Земли с периодами от нескольких секунд до десятков минут.

Магнитосфера Земли представляет собой самую внешнюю оболочку нашей планеты. Она постоянно находится под воздействием солнечного ветра и межпланетного магнитного поля. В результате этого взаимодействия в околоземной среде происходит возбуждение электромагнитных волн различной природы в очень широком диапазоне частот от миллигерц (УНЧ диапазон) до десятков килогерц (ОНЧ диапазон)

По своей природе исследуемые геомагнитные пульсации с частотами 1-100 мГц, принадлежащие к низкочастотной части УНЧ диапазона, являются магнитогидродинамическими волнами в околоземной плазме.

Систематическое изучение геомагнитных пульсаций началось в 50-х годах прошлого столетия в нашем институте - в отделе, который возглавляла Валерия Алексеевна Троицкая. Пионерские работы по исследованию свойств и природы пульсаций принадлежат сотрудникам нашего института, многие из которых присутствуют в зале.

В настоящее время это направление исследований является одной из актуальных проблем, как в геомагнетизме, так и в солнечно-земной физике.

Геомагнитные пульсации играют важную роль в процессах передачи энергии в системе солнечный ветер – магнитосфера – ионосфера и представляют собой неотъемлемую составляющую “космической погоды”. Наиболее значительная передача энергии от солнечного ветра в магнитосферу Земли происходит во время магнитных бурь, что и определяет важность изучения пульсаций именно во время бурь.

Механизмы магнитных бурь и суббурь до сих пор окончательно не выяснены. Построение их "волнового портрета", то есть выявление пространственно-временных закономерностей различных типов МГД волн, служит одним из основных подходов к их пониманию.

Слайд 3

Целью моей работы было выявление общих закономерностей поведения УНЧ-волн во время разных фаз магнитных бурь на основе комплексного анализа данных наземных и спутниковых наблюдений.

Геомагнитные пульсации диапазона $Pc5$ с периодами 3-10 мин являются наиболее мощным волновым процессом в околоземной среде. Они вносят заметный вклад в баланс энергии системы солнечный ветер – магнитосфера – ионосфера, особенно во время геомагнитных возмущений. Однако, ни один из существующих геофизических индексов не отражает уровень волновой активности. Для количественной оценки интенсивности УНЧ волн назрела необходимость разработки специального геомагнитного индекса.

Одной из задач моей работы было разработка нового УНЧ-индекса, характеризующего мощность волн диапазона $Pc5$

В работе также анализировались:

- специфика волновых возмущений на очень высоких широтах
- взаимодействие волн УНЧ диапазона с более высокочастотными излучениями ОНЧ-диапазона и с потоками энергичных частиц в магнитосфере
- связь между возмущениями геомагнитного поля и вариациями атмосферного электрического поля

Слайд 4

Для решения поставленных задач была создана огромная база данных, в которую включены данные сетей наземных магнитометров, риометров, камер полного обзора неба и спутниковые наблюдения потоков частиц и магнитного поля.

База данных содержит информацию за 25 лет наблюдений, которая постоянно обновляется.

Слайд 5

При обработке наблюдений использовались различные методы анализа данных.

Все эти методы были специально адаптированы для анализа геофизических информации.

Был разработан специализированный пакет программ для анализа и визуализации данных **одновременных наблюдений** по многим станциям.

Слайд 6

Эти программы позволяют построить двумерные карты распределения интенсивности пульсаций в разных системах координат.

1. Геомагнитная широта – Геомагнитная долгота для определенного интервала мирового времени UT (LAT-LNG карты)
2. Местное магнитное время – Мировое время для заданного диапазона широт (MLT-UT карты)
3. Геомагнитная широта – Местное магнитное время для определенного интервала мирового времени UT (LAT-MLT карты)
4. Геомагнитная широта – Мировое время для заданного долготного сектора (LAT-UT карты или кеограммы пульсаций).

Слайд 7

Положения, выносимые на защиту, сформулированы в общем виде.

Далее рассмотрим конкретные результаты работы, отражающие каждое защищаемое положение.

Слайд 8

Известно, что магнитные бури обычно вызываются:

- либо высокоскоростными потоками солнечного ветра из корональных дыр. Это приводит к развитию в магнитосфере Земли слабых и умеренных магнитных бурь с
 - либо вспышками на солнце, которые сопровождаются выбросами корональной массы. Это приводит к развитию сильных магнитных бурь
- В последнее время в особый класс выделяются очень сильные магнитные бури - супербури.

Глава 2 посвящена исследованию пульсаций во время сильных и очень сильных магнитных бурь (супербури)

Слайд 9

Выброс массы формирует в межпланетном пространстве особую петлеобразную конфигурацию, называемую “межпланетным магнитным облаком”.

На переднем крае облака возникает ударная волна, которая при взаимодействии с магнитосферой Земли вызывает внезапное начало магнитной бури.

Между ударной волной и ведущим краем магнитного облака находится сжатая турбулентная область, характеризующаяся сильными флюктуациями всех компонент ММП и плотности солнечного ветра.

Подход этой области к магнитосфере Земли вызывает начальную фазу магнитной бури.

Слайд 10

На основе анализа глобального распределения пульсаций в начальную фазу бурь, вызванных межпланетными магнитными облаками, нами БЫЛО показано, что во время прохождения орбиты Земли турбулентной оболочкой магнитного облака, наиболее интенсивные Pc5-6 пульсации наблюдаются в утренне-дневном секторе ПОЛЯРНОЙ ШАПКИ.

Слайд 11

Изолированные ВЫСОКОШИРОТНЫЕ всплески Pc5-6 пульсаций на земной поверхности наблюдались синхронно с появлением аналогичных волновых пакетов в вариациях параметров межпланетного магнитного поля и солнечного ветра на переднем фронте магнитного облака.

Высказано предположение, что основным агентом, вызывающим возбуждение этих ПОЛЯРНЫХ пульсаций, является прямое проникновение гидромагнитных волн из межпланетной среды.

Слайд 12

С подходом к магнитосфере Земли ведущего края облака и развитием главной фазы бури резко меняются параметры ММП и солнечного ветра:

- ориентация ММП V_z меняется на южное направление, благоприятное для пересоединения межпланетного и магнитосферного магнитных полей;
- флюктуации ММП резко прекращаются
- плотность солнечного ветра резко падает

Нами было впервые показано, что с началом главной фазы бури максимум интенсивности волновой активности резко перемещается в замкнутую магнитосферу.

Слайд 13

В работе был обнаружен принципиально новый класс пульсаций!!!!.

Показано, что в начальную фазу магнитной бури при большом динамическом давлении солнечного ветра и положительной Vz-компоненте межпланетного магнитного поля возбуждаются глобальные Pc5 пульсации.

Они охватывают всю магнитосферу: от полярных до экваториальных широт!

Также нами выявлена триггерная стимуляция глобальных Pc5 волн всплесками флуктуаций плотности солнечного ветра.

Слайд 14 см слайд

Обнаруженные нами глобальные геомагнитные пульсации обладают следующими свойствами:

- Они синхронно возбуждаются от полярных до экваториальных широт, в то время как обычные Pc5 наблюдаются в авроральных широтах.

- спектры глобальных пульсаций, для разных станций –от среднеширотных к экваториальных, показывают что частоты спектрального максимума не зависят от широты!

Это не соответствует резонансной теории возбуждения пульсаций, согласно которой максимум частоты должен уменьшаться с увеличением широты. То есть эти пульсации имеют иное, чем резонансное, происхождение.

Глобальные пульсации имеют наибольшую амплитуду в послеполуденные часы, в отличие от обычных Pc5 пульсаций.

Они имеют малые волновые числа.

Таким образом, глобальные пульсации имеют иную физическую природу, чем обычные Pc5 пульсации. Возможно, что эти пульсации представляют собой не локальные колебания резонансных магнитных оболочек, как типичные Pc5, а собственные моды МГД волновода, образующегося во внешней магнитосфере.

Слайд 15

Глобальные Pc5 были обнаружены не только в начальную фазу бурь, и в восстановительную фазу супербурь, при очень высокой скорости солнечного ветра $V \sim 1000$ км/с, что в 2-3 раза превышает среднюю. Амплитуда пульсаций достигала 600 нТл

Происходит необычно глубокое проникновение послеполуденных волн в магнитосферу - с двумя областями усиления Pc5 пульсаций, разделенных переверотом фазы волны на плазмопаузе.

Слайд 16

В восстановительную фазу **СУПЕРБУРИ** наблюдается пространственная асимметрия генерации геомагнитных пульсаций Pc5:

- В УТРЕННЕМ СЕКТОРЕ интенсивные колебания регистрируются в авроральных широтах, (как и в восстановительную фазу обычных бурь)
- а В ПОСЛЕПОЛУДЕННОМ – в субавроральных и средних широтах

Таким образом, глобальные Pc5 пульсации были обнаружены как на начальной фазе сильных бурь, так и на восстановительной фазе супербурь.

Слайд 17

Главная фаза магнитных бурь и супербурь характеризуется развитием суббуревой активности в ночном секторе магнитосферы. Развитие суббури сопровождается появлением иррегулярных Pi3 пульсаций

В работе показано, что наиболее интенсивные Pi3 пульсации наблюдаются в той же области, что и магнитосферные суббури, а динамика пульсаций Pi3 полностью отражает пространственно-временную динамику суббурь.

Слайд 18

Во время главной фазы супербури 30.10.2003 наблюдалось необычно большое смещение полярной границы Pi3 возмущений в более низкие широты. По-видимому, эта граница является также полярной границей авроральной зоны.

Слайд 19

Итак, Первое защищаемое положение:

Пульсации диапазона Pc5-6 являются неотъемлемым элементом магнитных бурь, при этом на разных фазах бури механизмы возбуждения и физическая природа этих колебаний различны.

Показано, что начальная фаза магнитной бури характеризуется возбуждением Pc5 пульсаций с наибольшей амплитудой в утреннем секторе полярной шапки. Выявлено, что основным агентом, вызывающим возбуждение этих полярных пульсаций, является прямое проникновение в магнитосферу флуктуаций межпланетного магнитного поля.

Показано, что в главную фазу бури, при подходе ведущего края магнитного облака, волновая активность резко перемещается из полярных широт в замкнутую магнитосферу.

Обнаружен качественно новый класс геомагнитных пульсаций - глобальные Pc5 пульсации. Эти пульсации имеют аномально большую амплитуду (до 600 нТл) и проникают в магнитосферу до низких широт. Глобальные Pc5 пульсации могут наблюдаться как в начальную фазу сильных магнитных бурь, при большом динамическом давлении солнечного ветра и северной ориентации ММП, так и на восстановительной фазе супербурь. Высказана гипотеза, что глобальные Pc5 пульсации являются собственными модами магнитосферного МГД волновода.

Слайд 20

Переходим к следующей задаче. В главе 3 исследовались особенности волновых возмущений на очень высоких широтах.

ПЛАКАТ С МАГНИТОСФЕРОЙ!!!

Высокие широты имеют особое значение для космической геофизики. В силу особенностей топологии околоземного магнитного поля именно эти широты сопряжены с пограничными областями магнитосферы, где происходят основные процессы взаимодействия солнечного ветра с магнитосферой Земли. УНЧ волны на высоких широтах оказываются индикатором такого взаимодействия.

Слайд 20 На широтах дневного полярного каспа Большаковой и Троицкой были обнаружены специфические иррегулярные пульсации $iprc1$ с $T \sim 5-40$ мин,

На высоких широтах в одном и том же частотном диапазоне $\sim 1.5-2.5$ мГц наблюдаются три различных типа пульсаций:

В околополуденные часы наиболее интенсивными пульсациями являются локальные иррегулярные колебания, наблюдаемые вблизи ионосферной проекции каспа и входных слоев магнитосферы.

В утренние часы квазимонохроматические Pc5 пульсации наблюдаются в восстановительную фазу суббури на широтах $\sim 65^\circ-70^\circ$.

В вечерние и ночные часы возбуждаются всплески иррегулярных Pi3 пульсаций с нестационарным спектром, сильно локализованные по широте.

Слайд 21

Обнаружено, что начало суббури на ночной стороне приводит к резкому подавлению высокоширотных IPCL пульсаций на дневной стороне.

Это показывает, что процесс развития суббури охватывает значительно более обширные области магнитосферы, чем считалось ранее.

Слайд 22

Была обнаружена межполушарная асимметрия в поведении пульсаций в высоких широтах:

В северном полушарии пульсации наблюдались в более обширной области широт, чем в южном полушарии.

Максимум амплитуды колебаний в северном полушарии наблюдался на более высоких широтах, чем в южном.

Амплитуда пульсаций на геомагнитных широтах ниже 74° в северном полушарии была выше, чем в южном.

Эти особенности, по-видимому, связаны с резким отличием в географических широтах и долготах, определяющих проводимость ионосферы, магнитосопряженных областей в высоких широтах.

Слайд 23

Pc3-4 пульсации наблюдаются в дневной магнитосфере на всех широтах. Анализ одновременных наблюдений Pc3-4 пульсации в каспе и на средних широтах показал, что в диапазоне Pc3 отмечалось лишь общее совпадение начала и конца режима, а отдельные волновые пакеты были несинхронны. В то же время в диапазоне Pc4 отмечается подобие волновых всплесков - колебания почти противофазны.

Показано, что в случае одновременного появления Pc3-4 пульсации в области каспа и на средних широтах, спектральные и поляризационные характеристики пульсаций на этих широтах отличаются.

Это свидетельствует о том Pc3-4 пульсации в области каспа и на средних широтах имеют общий источник - форшок, однако каналы проникновения волновой энергии из области перед магнитосферной ударной волной на средние и на высокие широты различны - это прямое проникновение в области каспа и входных слоев И распространение и резонансная трансформация в приэкваториальной плоскости магнитосферы.

Слайд 24

Второе защищаемое положение:

На высоких широтах, являющихся проекциями пограничных областей магнитосферы – каспа, входных слоев, и полярной шапки, действуют специфические механизмы возбуждения особых типов УНЧ колебаний.

Обнаружен эффект резкого подавления дневных колебаний в каспе во время начала суббури на ночной стороне.

В интенсивности длиннопериодных пульсаций на широтах каспа проявляется северо-южная асимметрия, обусловленная как контролем ионосферной проводимостью, так и несимметричным распределением продольных токов между полушариями.

Pc3-4 пульсации в области каспа и на средних широтах имеют общий источник - форшок, однако каналы проникновения волновой энергии из области перед магнитосферной ударной волной на средние и высокие широты различны.

Слайд 25

В главе 4 рассмотрено магнитосферно-ионосферное взаимодействие на разных фазах магнитных бурь и суббурь по данным одновременных наблюдений геомагнитных вариаций, высыпаний энергичных частиц, ОНЧ излучений

Слайд 26

Анализ одновременных наблюдений геомагнитных пульсаций и вариаций риометрического поглощения в утреннем секторе высоких широтах показал, что появлению пульсирующих высыпаний предшествует развитие суббури. При этом хотя спектры геомагнитного поля и риометрического поглощения имеют общие максимумы 1-2 и 2.5-3.5 мГц (показать), но только на частотах

$f > 2$ мГц высыпания электронов синхронны с геомагнитными Pc5 пульсациями.

Более низкочастотные пульсации с $f < 2$ мГц не сопровождаются подобными пульсациями в риометрическом поглощении

Возможной причиной этого является особенность модуляции коэффициента pitch-угловой диффузии электронов альвеновскими волнами

Слайд 27

Проведен сравнительный анализ высыпаний электронов (300-600 кэВ) в полярных областях по данным спутника КОРОНАС-Ф и наземных наблюдений магнитного поля и энергичных частиц (риометрическое поглощение и полярные сияния) вблизи проекции орбиты спутника.

Анализировались те пролеты спутника, в которые наблюдались высыпания электронов в полярной шапке.

Слайд 28

Нами было выявлено, что спорадические высыпания электронов вблизи полярной границы аврорального овала сопровождались бухтообразными магнитными возмущениями, всплесками риометрического поглощения, геомагнитными $Pi3$ пульсациями и полярными сияниями.

Этот эксперимент показал наличие спорадических возмущений даже в магнитоспокойные периоды на полюсной границе аврорального овала

Слайд 29

Анализ одновременного появления интенсивных всплесков ОНЧ-хоров (излучений), пульсирующих высыпаний (риометров) и геомагнитных пульсаций Pc5 в утреннем секторе авроральных широт показал наличие общего максимума в спектрах пульсаций Pc5, пульсирующих высыпаний частиц и вариаций интенсивности ОНЧ хоров.

Таким образом, было показано, что Pc5 геомагнитные пульсации могут модулировать высыпание электронов и интенсивность ОНЧ хоров

Слайд 30

Переходим к третьему защищаемому положению:

УНЧ волны могут вызывать модуляцию потоков захваченных и высыпающихся энергичных магнитосферных электронов и их ускорение до

релятивистских энергий, при этом флуктуирующие потоки высыпающихся электронов приводят к модификации E-слоя ионосферы и генерации геомагнитных колебаний.

- Показано, что всплески Pc5/Pi3 пульсаций локальны во времени и пространстве. Они совпадают с началом суббури и привязаны к области вытекающих из ионосферы продольных токов.
- Во время суббури в утренние часы в авроральных широтах пульсирующие высыпания электронов синхронны с геомагнитными Pc5 пульсациями только на частотах $f > 2$ МГц. Возможной причиной этого является особенность модуляции коэффициента питч-угловой диффузии электронов альвеновскими волнами.
- Спорадические высыпания энергичных электронов ($E > 300$ кэВ) по данным спутника КОРОНАС-Ф, бухтообразные магнитные возмущения, всплески риометрического поглощения, геомагнитные Pi3 пульсации, и уярчения полярных сияний постоянно присущи полярной границе аврорального овала.
- Pc5 геомагнитные пульсации модулируют высыпание электронов и интенсивность ОНЧ хоров.

Слайд 31

В главе 5 анализировалась взаимосвязь между возмущениями геомагнитного поля и вариациями атмосферного электрического поля

Вариации вертикальной компоненты атмосферного электрического поля (E_z) отражают состояние глобальной электрической цепи, которая замыкается через высокоширотную ионосферу. Поэтому на вариации атмосферного электрического поля большое влияние могут оказывать магнитосферные и ионосферные возмущения. Наиболее четко это проявляется в полярных и авроральных широтах.

Для выявления возможного влияния магнитосферных возмущений (суббурь и длиннопериодных пульсаций) на флуктуации напряженности вертикального атмосферного электрического поля проведен анализ одновременных наблюдений полярных геомагнитных пульсаций и вариаций E_z в обс. Хорнзунд. В зависимости от геомагнитной возмущенности эта обсерватория может проецироваться в различные области высокоширотной магнитосферы: в авроральный овал или полярную шапку (показать на слайде).

Было показано, что развитие магнитосферной суббури в утреннем секторе сопровождается положительными отклонениями в E_z , при этом точка наблюдения (HOR) находилась вблизи центра утреннего (положительного) вихря конвекции.

В вечернем секторе, когда HOR попадала в область вечернего (отрицательного) конвективного вихря, развитие полярной суббури сопровождалось отрицательными отклонениями в E_z .

Слайд 32

Спектральный анализ одновременных наблюдений вариаций геомагнитного и электрического поля в полярных широтах показал наличие широкого максимум в частотном диапазоне 1-5 мГц.

Было показано, что длиннопериодные геомагнитные пульсации (10-30 мин) находятся в противофазе с электрическими вариациями, в то время как короткопериодные пульсации HE сопровождаются синхронными колебаниями E_z .

Слайд 33

Четвертое защищаемое положение:

Высокоширотные УНЧ колебания являются агентом, осуществляющим связь между геомагнитными возмущениями и атмосферным электричеством.

Показано, что длиннопериодные геомагнитные пульсации (10-30 мин) находятся в противофазе с электрическими вариациями, в то время как короткопериодные пульсации не сопровождаются синхронными колебаниями E_z .

Развитие суббури сопровождается положительными/отрицательными отклонениями в атмосферном электрическом поле E_z , когда пункт наблюдения находится вблизи центра утреннего/вечернего вихря ионосферной конвекции. Конвективное движение ионосферной плазмы отражается в вариациях атмосферного электрического поля.

Слайд 34

Уровень турбулентности в околоземной пространстве отражается в интенсивности УНЧ волн и может быть одним из ключевых параметров характеризующих космическую погоду. Однако ни один из геомагнитных

индексов, используемых в геофизике не отражает уровень волновой активности.

Для оценки глобального уровня волновой УНЧ активности в магнитосфере мы разработали новый индекс, характеризующий мощность пульсаций в Pc5-диапазоне и рассчитываемый по данным глобальной сети магнитометров северного полушария, а также межпланетных и геостационарных спутников..

Текущее среднечасовое значение наземного УНЧ-индекса определяется как максимальная мощность:

- в полосе частот Pc5: 2-7 мГц
- в дневном секторе: 05–18 MLT
- на геомагнитных широтах 60°-70°

потому что именно в этих областях наблюдаются самые интенсивные пульсации Pc5

И в зависимости от задачи используется либо общая спектральная мощность в полосе, либо сигнал.

Слайд 35

Подобным образом вводятся **межпланетный** УНЧ-индекс, характеризующий волновую активность в солнечном ветре, и **геостационарный** УНЧ-индекс, характеризующий волновую активность в пограничных областях магнитосферы.

Слайд 36

С момента представления индекса научному сообществу в 2006 году опубликовано не менее 15 работ с его использованием.

Индекс оказался полезным для задач связанных с:

- Ускорение магнитосферных электронов при взаимодействии с УНЧ-волнами.
- Гелиобиология
- Исследование ULF волн в магнитосфере.
- Исследование электрических полей
- различие геоэффективности разных типов магнитных бурь

Слайд 37

Использование УНЧ-индекса позволило мне провести статистические исследования поведения УНЧ-волн методом наложения эпох и статистически подтвердить выводы, сделанные в Главе 2

Наибольшая интенсивность УНЧ пульсаций в начальную фазу магнитной бури отмечается в полярных широтах в утреннем секторе, а в авроральных широтах - в ночном и утреннем.

В главную фазу магнитной бури наибольшая волновая активность наблюдается в утреннем секторе авроральной зоны.

В восстановительную фазу бури волновая активность наибольшая в авроральной зоне в утреннем и ночном секторах, ночная активность отмечается и в субавроральной зоне.

Слайд 38

Переходим к заключительной главе

Было показано, что УНЧ-индекс лучше, чем какой-либо из существующих геомагнитных индексов, характеризует динамику релятивистских электронов в магнитосфере.

На рисунке показано резкое возрастание потоков магнитосферных электронов во время некоторых магнитных бурь. Видно, что поведение потоков электронов соответствует поведению УНЧ-индекса. Это свидетельствует в пользу теории, предполагающей, что ускорение электронов в магнитосфере происходит в результате их взаимодействия с УНЧ-волнами.

Слайд 39

Пятое защищаемое положение:

Геомагнитный волновой индекс, характеризующий уровень УНЧ волновой активности в околоземном пространстве, является важной характеристикой космической погоды.

Разработан новый геомагнитный индекс (УНЧ-индекс), характеризующий уровень ультранизкочастотной волновой активности на земной поверхности, в магнитосфере Земли и в межпланетном пространстве.

УНЧ индекс оказался эффективным параметром для статистического анализа различных процессов в солнечно-земной физике: определения различий в отклике магнитосферы на разные типы магнитных бурь, волнового ускорения релятивистских электронов и др.

Слайд 40

- **Разработан новый геомагнитный индекс (УНЧ-индекс), характеризующий уровень ультранизкочастотной волновой активности на**

земной поверхности, в магнитосфере Земли и в межпланетном пространстве.

- **Обнаружен качественно новый класс геомагнитных пульсаций - глобальные Pc5 пульсации.**
 - **Выявлены эффекты контроля магнитосферных пульсаций нестационарными процессами в солнечном ветре.**
- **Обнаружен эффект резкого подавления дневных длиннопериодных колебаний в каспе во время начала суббури на ночной стороне.**
- **Обнаружена северо-южная асимметрия в поведении длиннопериодных пульсаций в высоких широтах.**
- **По наземным и спутниковым данным показана связь авроральных геомагнитных Pc5-6 и Pi2-3 пульсаций с пульсирующими высыпаниями электронов, возмущениями ионосферного электроджета, и полярными сияниями.**
- **Показано, что длиннопериодные геомагнитные пульсации находятся в противофазе с вариациями вертикальной компоненты атмосферного электрического поля.**
- **Разработан специализированный пакет программ для анализа данных наземных и спутниковых магнитометров, включающий оригинальные методы спектральной оценки, расчет распределения спектральной мощности УНЧ волн и построения диаграмм мощности.**

Слайд 41

Апробация работы

- Основные результаты докладывались на чем 100 российских и зарубежных научных конференциях
- По теме работы имеется 75 публикаций в журналах из списка ВАК

Слайд 42

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!