

Отчет ИФМ СО РАН за 2012 год

Приоритетное направление СО РАН П.8. Актуальные проблемы оптики и лазерной физики, в том числе достижение предельных концентраций мощности и энергии во времени, пространстве и спектральном диапазоне, освоение новых диапазонов спектра, спектроскопия сверхвысокого разрешения и стандарты частоты, прецизионные оптические измерения, проблемы квантовой и атомной оптики, взаимодействие излучения с веществом.

Программа П.8.3. Фундаментальные проблемы оптики и дистанционного зондирования атмосферы.

Проект П.8.3.7. Исследование динамики атмосферного аэрозоля и парниковых газов в различных природно-климатических условиях под воздействием естественных и антропогенных факторов на примере резко континентального климата оз. Байкал и аридных территорий Центральной Азии.

Научный руководитель проекта – к.ф.-м.н., доцент Жамсуева Г.С.

Исполнитель: лаборатория дистанционного зондирования атмосферы.

1. Результаты многолетних наблюдений в г. Улан-Удэ (рис. 4.1) показали, что в последние годы наблюдается рост среднегодовых концентраций озона, которые превышают среднесуточную предельно-допустимую концентрацию (ПДК= 30 мкг/м³), за счет возрастающей доли выбросов автотранспорта и увеличения вклада фотохимических процессов генерации озона. Выявлено, что характерной особенностью суточных вариаций приземной концентрации озона в весенние месяцы являются ночные максимумы озона, сравнимые с их максимальными дневными концентрациями. Увеличение приземной концентрации озона в ночные часы, когда отсутствуют условия для генерации озона, в первую очередь связано с поступлением обогащенного озоном воздуха из свободной атмосферы за счет орографических особенностей рельефа г. Улан-Удэ, способствующим развитию горно-долинной циркуляции и стоковых явлений в условиях горной местности.

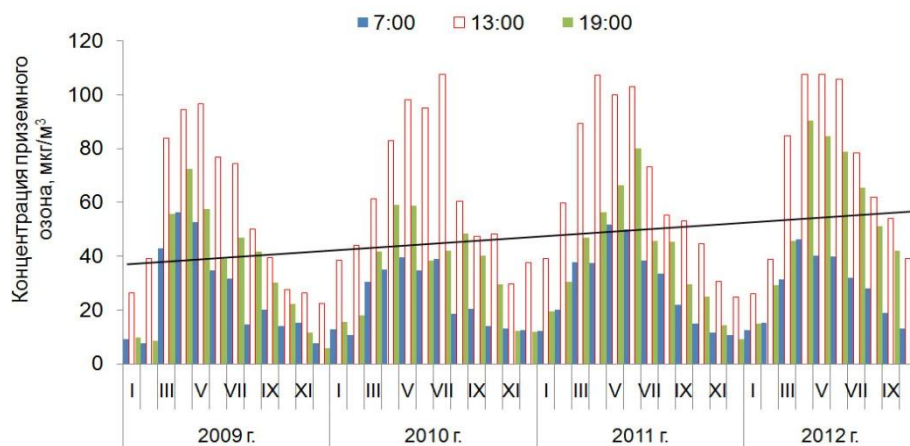


Рис. 4.1. Дневной ход приземной концентрации озона по сезонам за 2009-2012 гг.

Важнейшие публикации:

1. Исследование радиационных характеристик аэрозоля в азиатской части России // Коллективная монография под общей ред. С.М. Сакерина. Томск. 2012. 484 с.

2. Жамсуева Г. С., Заяханов А.С., Стариков А.В., Цыдыпов В.В., Аюржанаев А.А., Ходжер Т.В., Голобокова Л.П., Филиппова У.Г. Химический состав аэрозолей в атмосфере Монголии // Метеорология и гидрология. 2012. № 8. С. 59-67.

3. Заяханов А.С., Жамсуева Г.С., Нагуслаев С.А., Цыдыпов В.В., Аюржанаев А.А., Сакерин С.М., Кабанов Д.М., Аззая Д., Оюнчимег Д. Пространственно-временные характеристики АОТ атмосферы в пустыне Гоби по данным наземных наблюдений // Оптика атмосферы и океана. 2012. Т. 5. № 04. С. 327-334.

4. Дементьева А.Л., Жамсуева Г.С., Заяханов А.С., Цыдыпов В.В. Исследование метеорологических параметров атмосферы пустыни Гоби // Естественные и технические науки. 2012. № 3. С. 507-509.

5. Zhamsueva G.S., Zayakhanov A.S., Tsydypov V.V., Ayurzhanayev A.A., Enkhmaa N., Oyunchimeg D., Azzaya D. Aerosol and its dynamic in the atmosphere of Govi region of Mongolia // Journal of agricultural sciences. Ulaanbaatar. 2012. Vol. 08. No. 01. P. 91-95.

6. Жамсуева Г.С., Заяханов А.С., Цыдыпов В.В., Аюржанаев А.А., Н. Энхмаа, Оюнчимег Д., Аззая Д. The study on dust storm & small gases in the atmosphere of Govi region of Mongolia // ХАА-н академийн сэтгүүл. Ulaanbaatar. 2012. Vol. 09. No. 02. P. 196-202.

Приоритетное направление П.10. Современные проблемы радиофизики и акустики, в том числе фундаментальные основы радиофизических и акустических методов связи, локации и диагностики, изучение нелинейных волновых явлений.

Программа П.10.1. Радиофизические методы диагностики окружающей среды.

Проект П.10.1.4. Радиозондирование почвенно-лесного покрова в метровом и дециметровом диапазонах

Научный руководитель - д.ф.-м.н., проф. Ю.Л. Ломухин.

Исполнитель: лаборатория радиозондирования природных сред.

1. Выявлен физический механизм обратного радарного рассеяния (рис. 6.1), включающий как поверхностное, так и объемное отражение в граничащих однородных средах. Получены формулы для коэффициентов обратного рассеяния пригодные для любых углов падения.

Если в плоскости падения лежит вектор \vec{E} (ТМ-мода), то коэффициент обратного рассеяния имеет вид:

$$\sigma_{VV} = 20 \lg \left\{ \alpha_{\parallel} \left[V_{\parallel}^2(\varphi_1) e^{-2ik_1 h_1 / \cos \varphi_1} + [1 - V_{\parallel}^2(\varphi_1)] e^{-2ik_2 h_2 / \sqrt{1 - \left(\frac{k_1}{k_2}\right)^2 \sin^2 \varphi_1}} \right] \times \right. \\ \left. \times \sqrt{\left(1 + \sin^2 \varphi_1\right)^2 + \frac{1}{4} \sin^2 2\varphi_1} \right\} \cos \varphi_1$$

и если вектор \vec{H} лежит в плоскости падения (ТЕ-мода), то

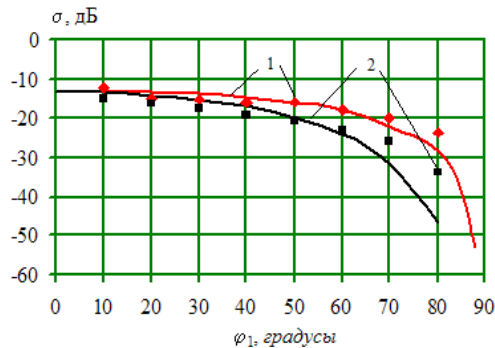
$$\sigma_{HH} = 20 \lg \left\{ \alpha_{\perp} \left[V_{\perp}^2(\varphi_1) e^{-2ik_1 h_1 / \cos \varphi_1} + [1 - V_{\perp}^2(\varphi_1)] e^{-2ik_2 h_2 / \sqrt{1 - \left(\frac{k_1}{k_2}\right)^2 \sin^2 \varphi_1}} \right] \cos^2 \varphi_1 \right\},$$

Здесь $\alpha_{\parallel, \perp} = 1 + \frac{V_{\parallel, \perp}(0)}{V_{\parallel, \perp}^2(0) e^{-2ik_1 h_1} + [1 - V_{\parallel, \perp}^2(0)] e^{-2ik_2 h_2}}$, $V_{\perp}(\varphi_1)$, $V_{\parallel}(\varphi_1)$ - коэффициенты

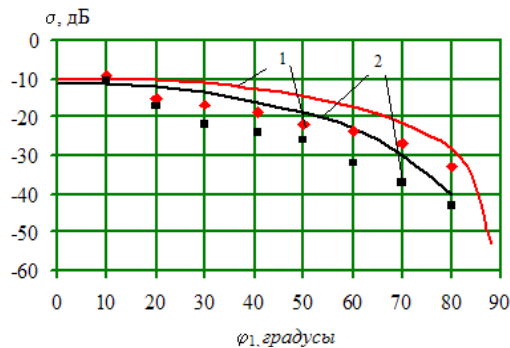
Френеля. Параметры h_1 и h_2 это предельные значения глубины погружения волн в среды 1 и 2. Они определяются из уравнений энергетического баланса в первой и второй средах. Приблизительно, при $2 < \text{Re}(\varepsilon_{1,2}) < 10$ можно считать

$$h_{1,2} \cong \frac{\lambda}{\sqrt{2\pi} \sqrt{\sqrt{\varepsilon_{1,2}''^2 + \varepsilon_{1,2}'^2} - \varepsilon_{1,2}'}}, \lambda - \text{длина волны в вакууме.}$$

На рис. 6.2 приведены примеры расчетных и экспериментальных угловых зависимостей коэффициентов обратного рассеяния при бетонном и асфальтовом покрытии, которые согласуются с экспериментально подтвержденными результатами Ulaby F.T.



а) Асфальт, $\lambda = 0.86\text{см}$, $\varepsilon = 2.5 - i0.26$



б) Бетон, $\lambda = 0.86\text{см}$, $\varepsilon = 5.5 - i0.1$

Рис. 6.2. Зависимость σ от угла падения φ_1 . 1- ТЕ, 2-ТМ поляризации.

2. Проведено теоретическое и экспериментальное исследование обратного отражения проводящей ровной и шероховатой поверхности. Обнаружено слабое влияние неровностей при нормальном падении волн на поверхность.

3. Получена формула коэффициента отражения структуры «почва-лес-атмосфера», учитывающая случайный дискретный характер, анизотропию, частотную дисперсию лесной среды и дисперсионные свойства почвы. Даны оценки коэффициентов отражения от почвенно-лесного покрова.

На рис. 6.3 приведен расчет частотной зависимости коэффициентов отражения лесного слоя соответственно для ТМ и ТЕ мод в случае нормального падения плоской волны ($\varphi_1 = 0$). Значение КДП земной поверхности (глина- 13%, песок-77%, объемная влажность-8%), КДП древесины (температура окружающей среды- 20^0C , объемная концентрация воды- 0.1). Размер деревьев: средний радиус стволов- 0.09 м, средний радиус кроны- 1.58м, средняя высота леса- 10м. Среда считается не магнитными.

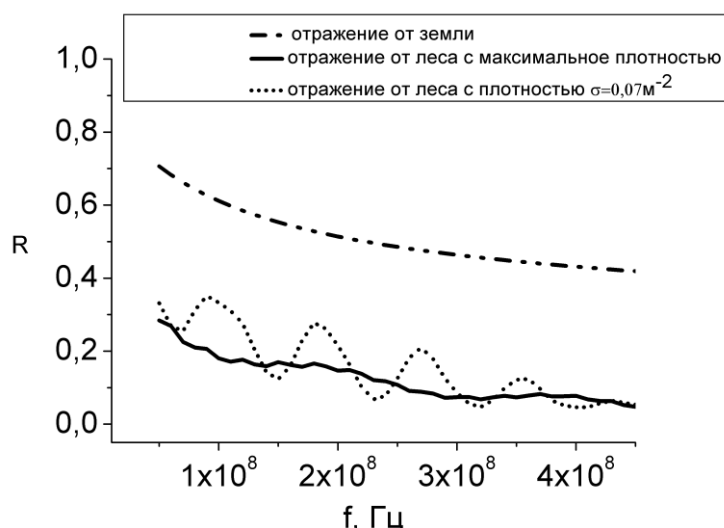


Рис. 6.3. Частотная зависимость коэффициента отражения почвенно-лесного слоя

Из графика видно, что для не плотного леса наблюдается флуктуации коэффициента отражения.

4. Проведено обобщение метода погружения в сплошные среды. Получены теоретические и экспериментальные данные по ослаблению волн горизонтальной и вертикальной поляризации в многоярусном лесном слое.

На рис. 6.4 представлена геометрия задачи: цилиндрические элементы высотой h случайным образом, по закону Пуассона расположены на границе раздела Π между изотропными средами с ε_3 и ε_B . Неоднородности представляют из себя сочетание двух областей: нижнего цилиндра радиусом a_1 , высотой h_1 с относительной диэлектрической и магнитной проницаемостью соответственно ε_1, μ_1 , и верхнего с $\varepsilon_{\phi}, \mu_{\phi}$, радиусом a_2 и высотой $h - h_1$. Параметры $\varepsilon_1, \varepsilon_{\phi}, \varepsilon_3$ являются комплексными. Источник Q – произвольно ориентированный в пространстве элементарный диполь, расположен на высоте z_Q . Точка наблюдения P находится на высоте z_P .

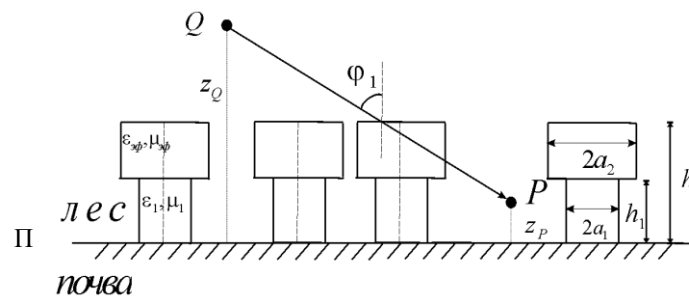


Рис. 6.4. Модель лесного слоя.

На рис. 6.5 представлены зависимости множителя V (прозрачность полога), где $V = \overline{E}E^* / \overline{E}_0E_0^* \overline{E}E^*$ - уровень поля в лесной среде, $\overline{E}_0E_0^*$ - уровень поля в отсутствии лесного слоя от угла облучения. Расчеты выполнены для леса при $h=10\text{м}$, $h_1=0.2\text{м}$, $a_1=0.09\text{м}$, $a_2=1.58\text{м}$, $\sigma=0.1\text{дср/м}^2$, $z_Q=13.7\text{м}$, $z_P=2\text{м}$.

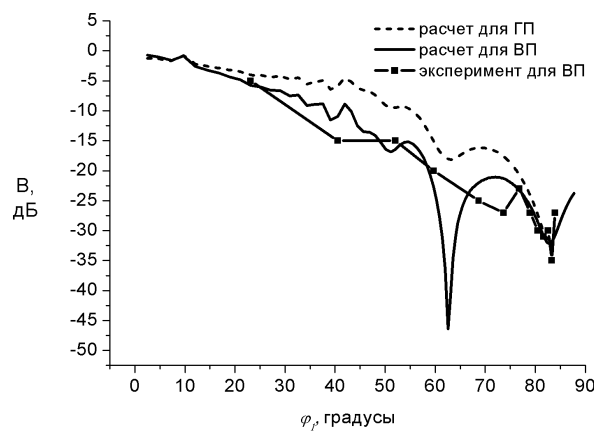


Рис. 6.5. Угловая зависимость множителя V . $f = 150\text{МГц}$.

Из рисунка видно, что ослабление, вносимое пологом, с ростом угла облучения увеличивается, при этом имеет осциллирующий характер.

5. Методом радиолокационной интерферометрии по данным бистатической радарной системы TanDEM-X получена цифровая модель рельефа острова Самойловский с пространственным разрешением на местности 3 м и разрешением по высоте 1 м (рис. 6.6).

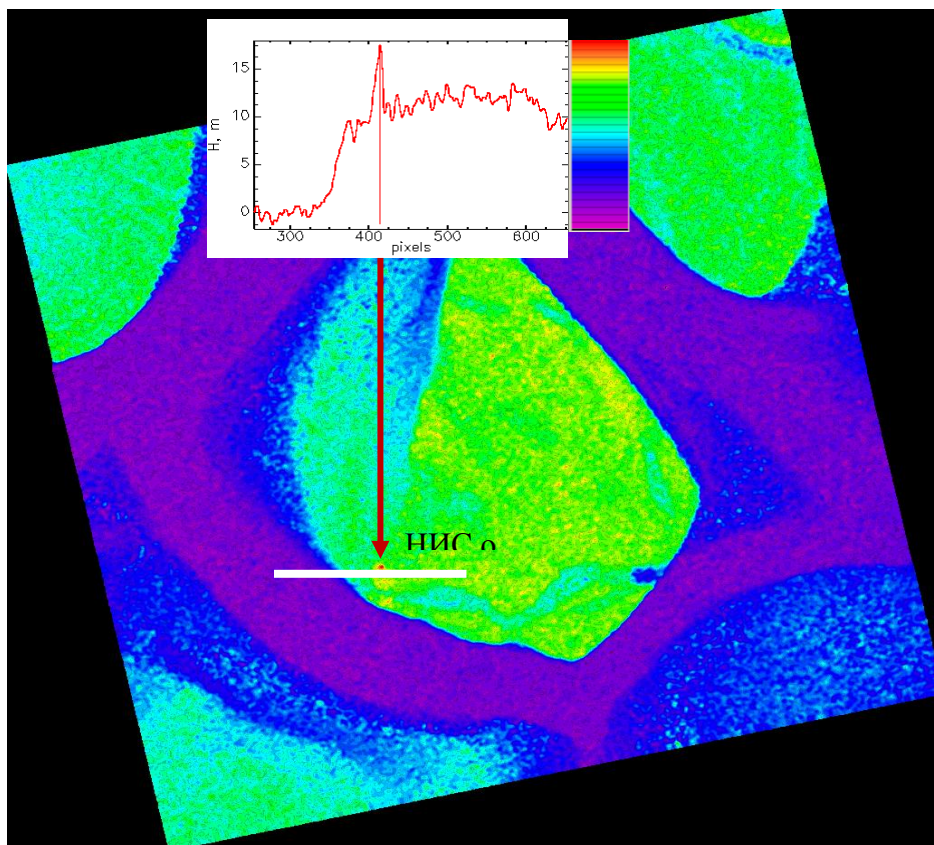


Рис. 6. 6. Цифровой рельеф о.Самойловский.

6. На примере Усть-Селенгинского тестового полигона показана возможность использования данных спутниковой дифференциальной радиолокационной интерферометрии L –диапазона для оценки амплитуд вертикальных подвижек грунта вследствие сезонных деформаций. В предположении, что величины сезонных деформаций за различные годы соизмеримы и находятся в пределах погрешности геодезического нивелирования, сравниваются результаты сезонных радарных интерферометрических измерений с полевыми геодезическими данными. Показано, что в зимний период расхождение между интерферометрическими и геодезическими измерениями не превышает 1,5 см, а в летний период при изменении влажности верхнего слоя почв указанное расхождение достигает $2 \div 2.7$ см.

На рисунке 6.7а показано амплитудное изображение, спроецированное в географическую систему координат (долгота/широта). На рисунке 6.7б

представлена итоговая карта значений криогенного пучения почв за период с 13 января по 28 февраля 2009 г., где светлыми тонами выделены участки поднятия почвы в зимний период. Аналогичные карты распределения участков локальных деформаций грунта получены также в другие временные промежутки.

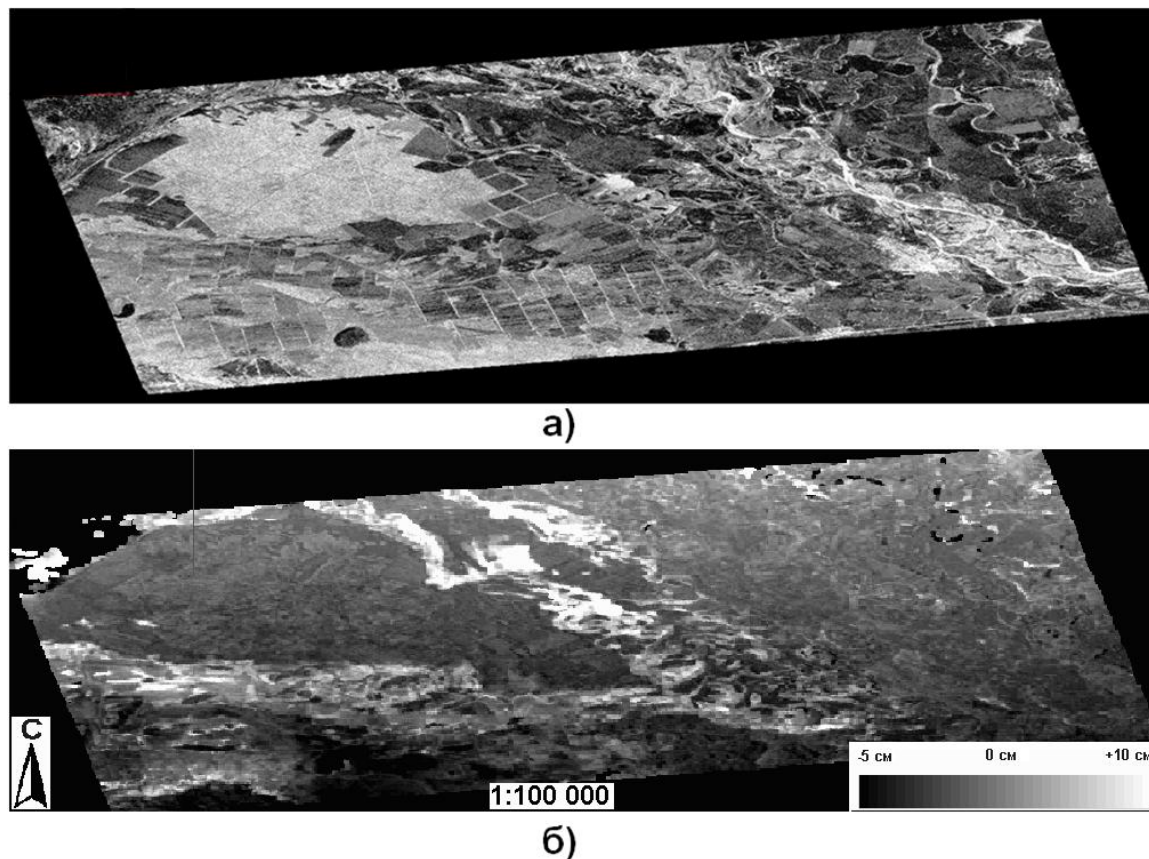


Рис. 6.7. Амплитудное изображение (а) и карта морозного пучения почв (б) для тестового полигона в дельте р. Селенга в период промерзания 2009.01.13-2009.02.28.

На рисунке 6.8 приведены временные (сезонные) зависимости вертикальных деформаций тестового участка, полученные методами спутниковой дифференциальной интерферометрии и наземного геодезического нивелирования.

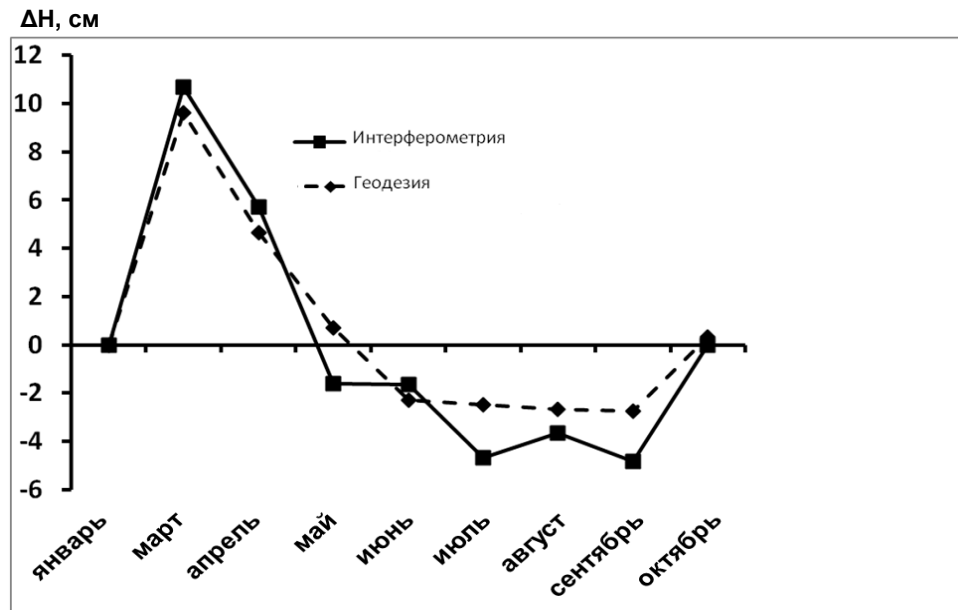


Рис. 6.8. Вертикальные сезонные деформации поверхности относительно уровня опорной точки в январе 2011г.

Из рисунка 6.8 видно, что наибольшие значения сезонных деформаций почвы от принятого нулевого уровня до 11 см наблюдаются в конце февраля - начале марта. Максимальное проседание поверхности происходило в летний период – до 5 см. Сравнение результатов, полученных спутниковым и наземным методами, показывает, что между ними наблюдается достаточно хорошее согласие. Так, максимальное расхождение в величинах вертикальных деформаций составляет 2,3 см, что составляет 14% от диапазона изменений деформаций и подтверждает достаточно высокую точность метода дифференциальной радиолокационной интерферометрии.

На рисунке 6.9 приведены для большей наглядности расхождения результатов геодезического нивелирования и радарной интерферометрии, полученные из данных на рисунке 6.8. Также на рисунке 6.9 показаны вариации объемной влажности поверхностного слоя почвы 0÷10 см, полученные одновременно с геодезическим нивелированием.

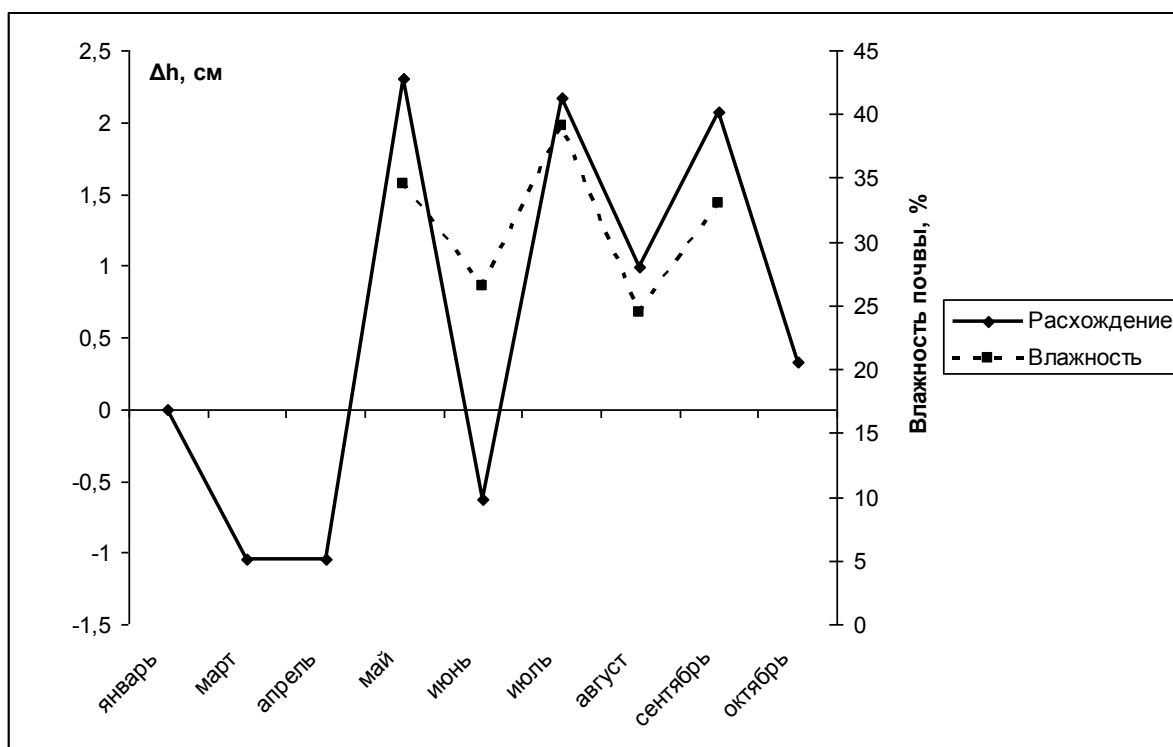


Рис. 6.9. Расхождение результатов радарной интерферометрии и геодезического нивелирования.

Из приведенных данных видно, что влажность хорошо коррелирует с измеренными значениями расхождений, максимальным значениям влажности соответствуют максимальные расхождения. Это может свидетельствовать о возможном влиянии влажности почвы на точность метода дифференциальной интерферометрии.

Сопоставление спутниковых интерферометрических измерений разных лет с данными геодезического нивелирования на протяжении 2011-12гг. показало, что погрешность интерферометрии при сравнении с наземными измерениями составляет 1,5 см. Изменение влажности почвы на 8-10% ведет к увеличению погрешности до 2 см. Различия степени увлажненности почвы в разные годы может быть в дальнейшем использовано как некоторый косвенный индикатор при мониторинговых исследованиях влажности почв. Наземная проверка на тестовом полигоне, подверженном сезонным криогенным деформациям, подтвердила применимость и высокую информативность радиолокационной интерферометрии при изучении и картографировании болотистых почв.

По результатам интерферометрических измерений Усть-Селенгинского тестового полигона была обновлена почвенная карта (рис. 6.10).

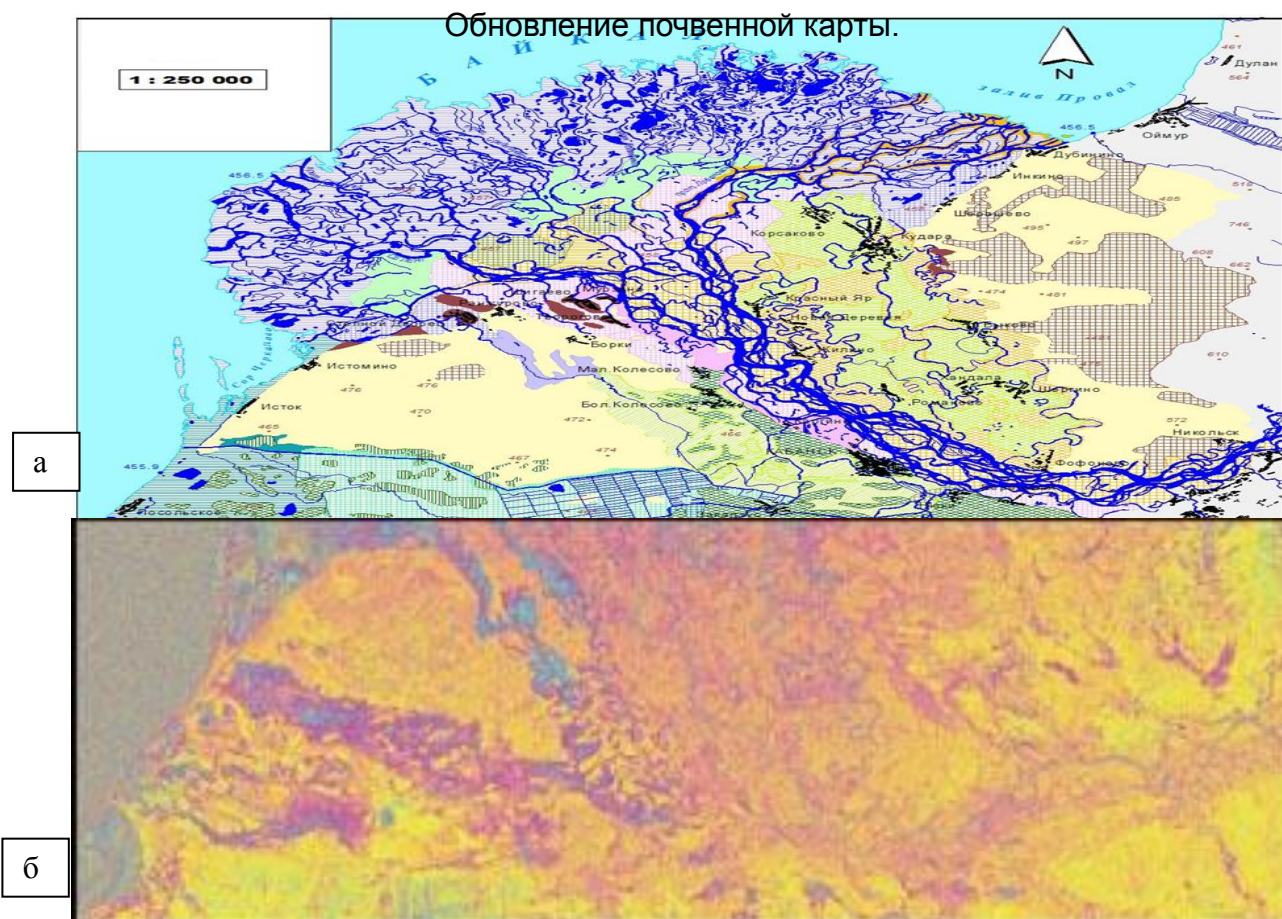


Рис. 6.10. Почвенная карта (а) и дифференциальная интерферограмма (б).

Методом пластики рельефа были выделены ареалы гидроморфной деформируемой почвы и составлена среднемасштабная почвенная карта. На рисунке 6.10б синим цветом выделены участки, которые впервые были отнесены к единому типу почвы.

С целью исследования быстротекущих и порой катастрофических изменений ландшафта, вызванных как деятельностью человека, так и колебаниями климата получен картографический материал для тестовых полигонов Арктики и Субарктики. Были проведены качественные оценки сезонных деформаций почв на территории Надымской нефтегазовой добычи. На рисунках 6.11 и 6.12 показаны RGB композиты, где R (красный) – когерентность т.е. степень корреляции двух изображений, G (зеленый) – усредненная интенсивность по снимкам и B (синий) – разность интенсивностей.

Оранжевый цвет (R+G) соответствует стабильным участкам. Темно-зеленый и оттенки синего цвета ($R \ll G, B$) соответствуют тем участкам поверхности, на которых наблюдаются значительные деформации.

На рисунке 6.11 представлено композитное изображение демонстрирующее изменения за 46 дней (11 декабря 2007 – 26 января 2008 гг.).

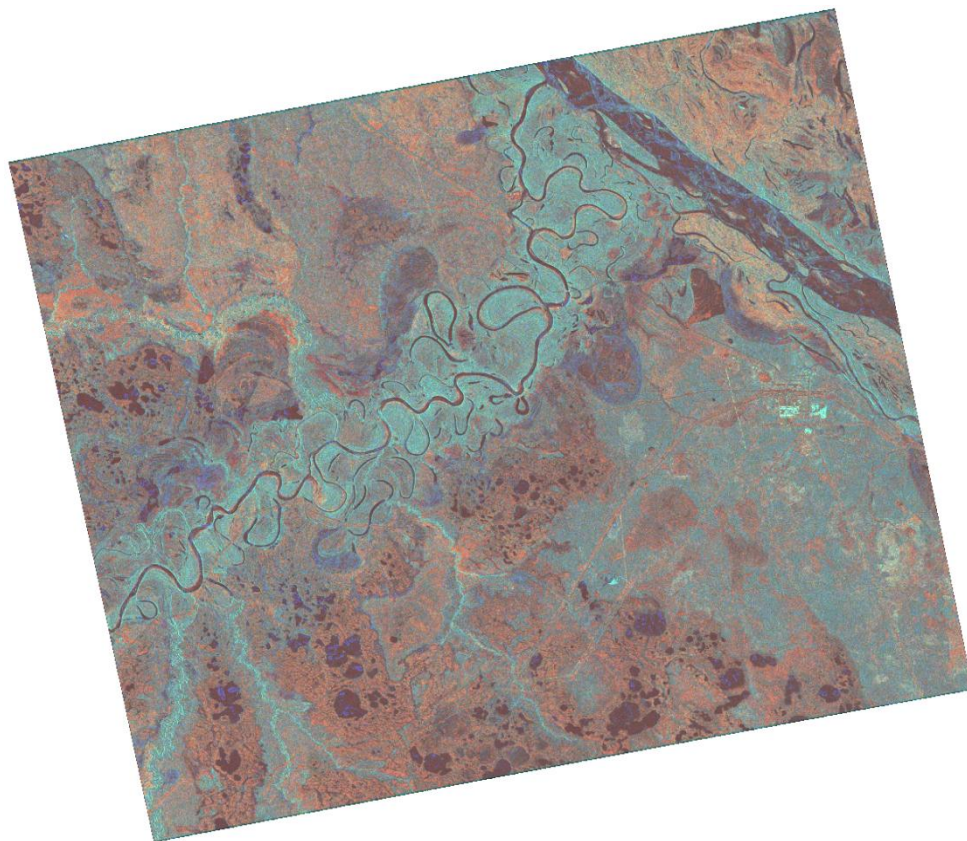


Рис. 6.11. RGB композит 11 декабря 2007 – 26 января 2008 годов.

В целом, за 46 дней, по всему полю снимка, преобладают стабильные участки подстилающей поверхности (оранжевый цвет).

На рис. 6.126 показан RGB композит, составленный по паре снимков 11 декабря 2007 – 31 января 2010 годов.

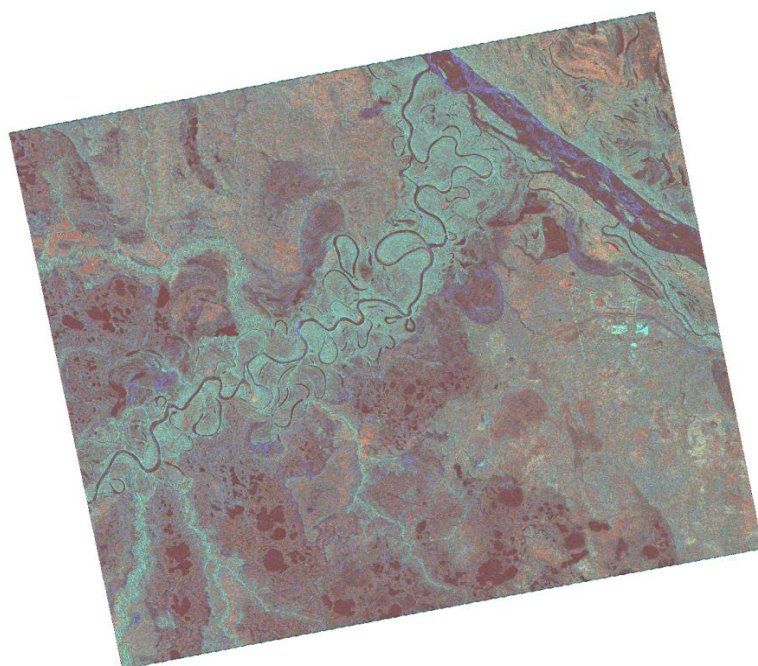


Рис. 6.12. RGB композит 11 декабря 2007 – 31 января 2010 годов.

Поскольку изображение соответствует зимнему периоду с устоявшимися процессами деформации почвы, то можно сделать предположение о долговременном характере фиксируемых деформаций за двухгодичный период.

Методом дифференциальной интерферометрии была построена карта вертикальных смещений (рис. 6.13).

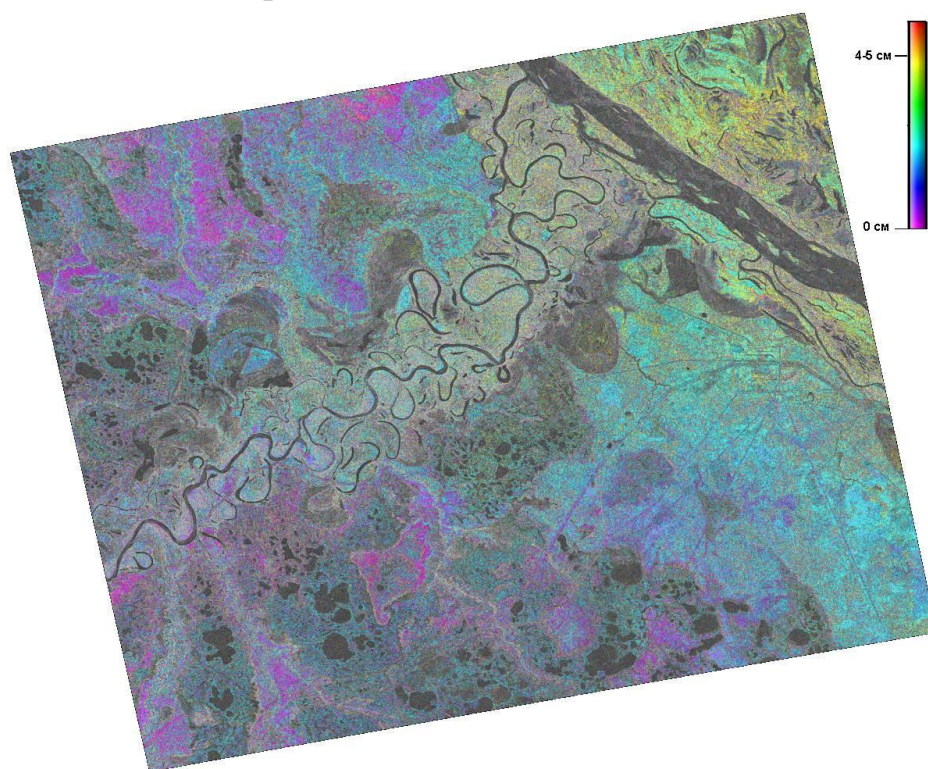


Рис. 6.13 Карта вертикальных смещений за период 11 декабря 2007 – 31 января 2010 годов.

Голубой и фиолетовый цвета соответствуют участкам без вертикальных подвижек. Желтый цвет – поднятию на 4-5 см.

За промежуток с 11 декабря 2007 по 31 января 2010 годов наблюдаются долговременные подвижки поверхности, местами с аномальными амплитудами деформаций.

На рисунке 6.14 показана контрастная карта с высокими значениями смещений.

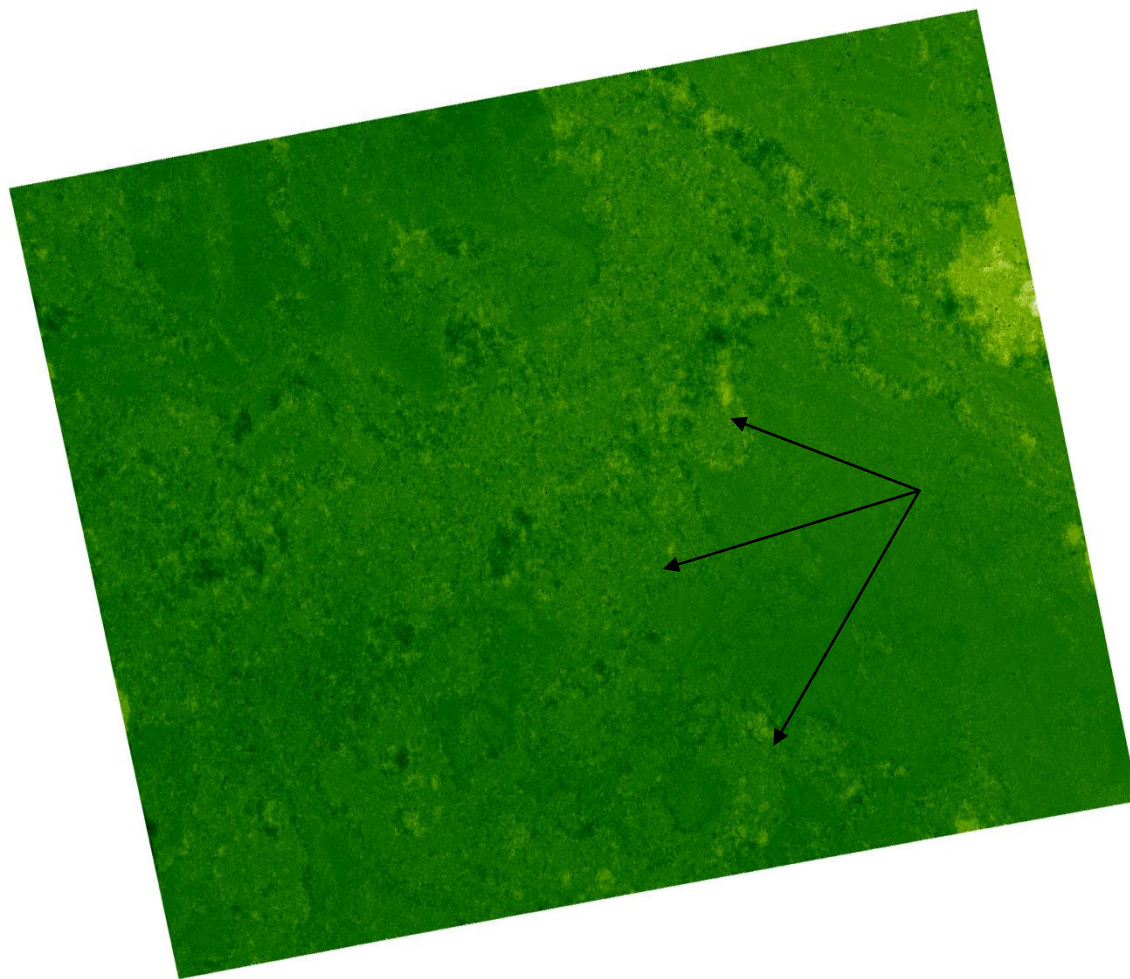


Рис. 6.14. Контрастная карта вертикальных смещений за период 11 декабря 2007 – 31 января 2010 годов.

Стрелками показаны светлые участки аномального поднятия почвы с амплитудой более 7 см.

Для тестового участка «Васькины Дачи» (п-в Ямал, Бованенково), где наблюдаются быстroteкущие изменения почвенного покрова, его разрушения, оползания, была сформирована актуальная карта высот по интерферометрической паре снимков (рис. 6.15).

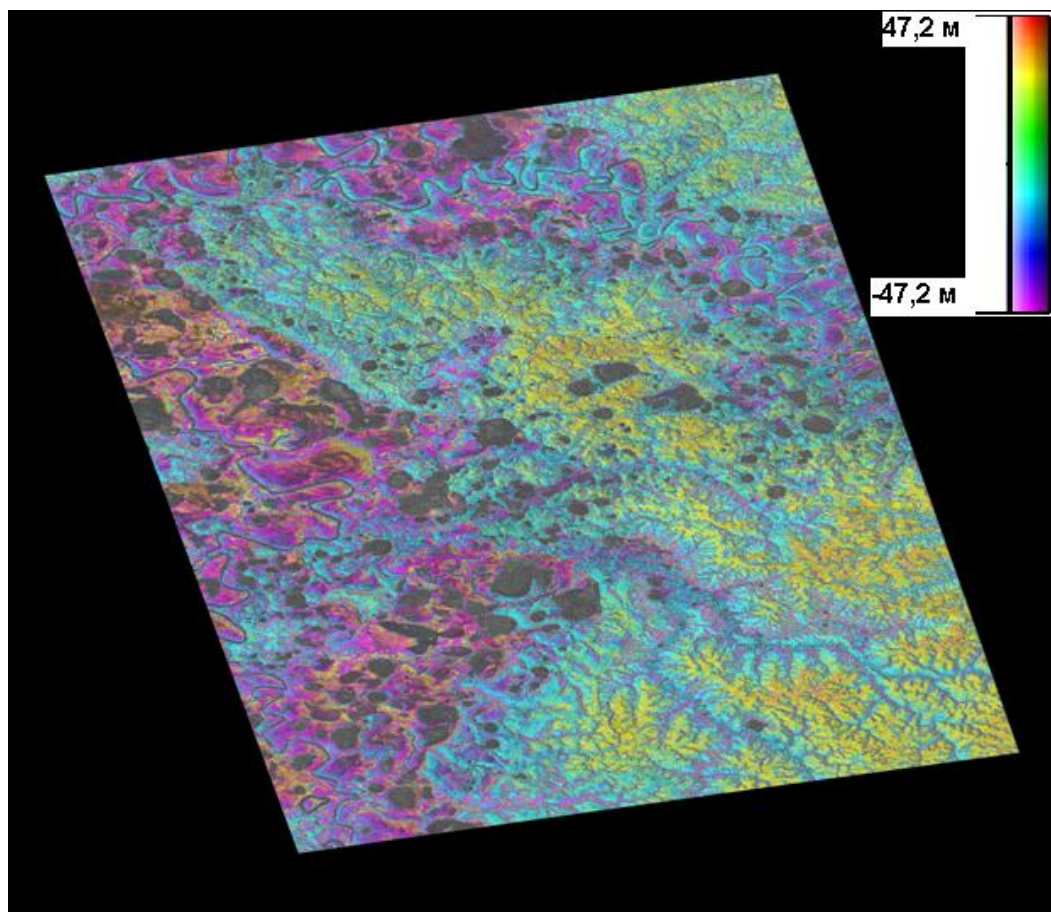


Рис. 6.15. Фильтрованная интерферограмма 01.12.2008 – 16.01.2009.

Использование актуальной информации о топографии необходимо для геофизического моделирования, а также для последующей интерферометрической обработки в качестве «опорной интерферограммы».

7. Исследовано влияние на характеристики радиосигналов интерферометрических радиолокаторов с синтезированной апертурой отражений от двухслойных систем: снег – мерзлая почва; лед – мерзлая почва; снег – влажная почва; лед – влажная почва; мерзлая почва – влажная почва; влажная почва – мерзлая почва.

Установлено, что как амплитуды, так и аргументы коэффициента отражения при определенных соотношениях параметров сред изменяются достаточно заметно. В радиолокационной интерферометрии отсутствие учета этих изменений может привести к заметным ошибкам. На рисунке 6.18 для примера показаны изменения амплитуды и аргумента коэффициента отражения волны длиной 23,5 см при нормальном падении на структуру «лед – влажная почва» при различных значениях влажности в зависимости от толщины льда d . При влажности $w = 0,24$ и $d = 3$ см. амплитуда коэффициента отражения стремится к нулю, так как при этих значениях параметров выполняется условие «согласования» сред 1 (атмосфера) и 3 (почва) посредством слоя льда 2. Аргумент коэффициента отражения при

этом скачком меняется на π . В X-диапазоне на длине волны 3,1 см толщина льда, при которой отраженный сигнал будет отсутствовать, составит 4 мм.

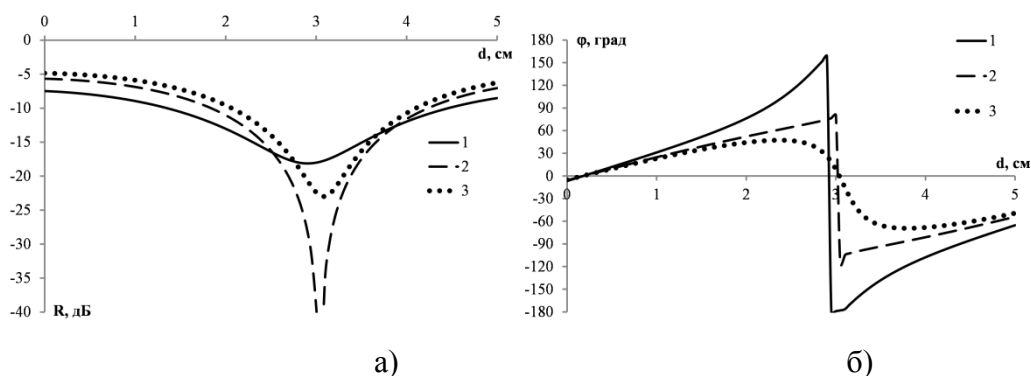


Рис. 6.18. Зависимости амплитуды (а) и аргумента (б) коэффициента отражения от толщины льда. 1 – $w = 0,15$, 2 – $w = 0,24$, 3 – $w = 0,3$.

8. Проведены экспериментальные исследования распространения радиоволн УКВ диапазона в широкой полосе частот в лесах различного видового и структурного состава. Определены дистанционные зависимости уровня поля при малых пространственных разносах антенн. Выполнен анализ полученных данных в сравнении с аналогичными зависимостями, полученными на открытой местности. Доказано, что лес любой структуры и любого видового состава на малых дистанциях не вызывает существенного дополнительного ослабления волн по сравнению с распространением на открытой местности.

9. Проведено экспериментальное исследование зависимости уровня обратного рассеяния при нормальном падении волн от глубины погружения проводящей пластины в диэлектрическую среду (песок). Обнаружен затухающий осциллирующий характер обратного рассеяния (рис. 6.20).

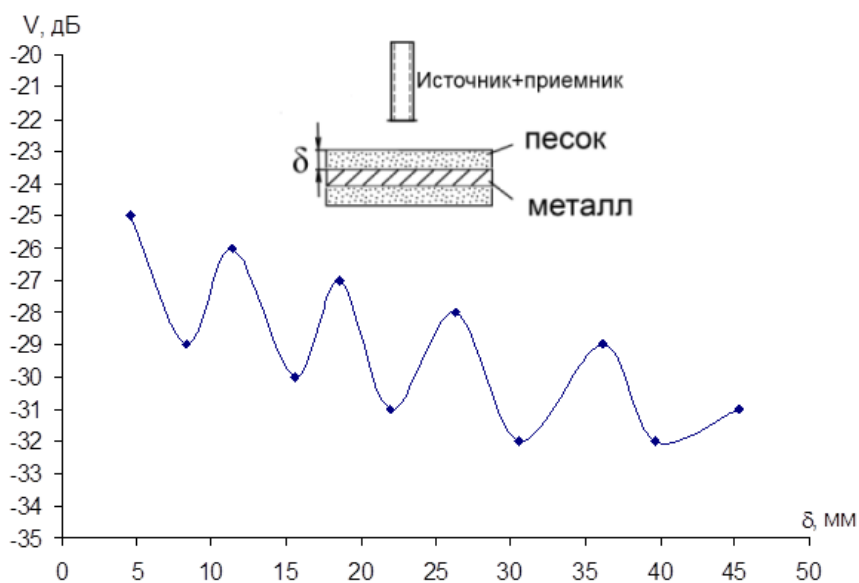


Рис. 6.20. Зависимость обратного отражения от проводящей пластины, погруженной в песок. Частота излучения - $f = 34.8 ГГц$.

Важнейшие публикации:

1. Атутов Е.Б. Ломухин Ю.Л. Прохождение электромагнитных волн метрового диапазона лесного полога // Известия вузов. Физика. 2012. №8/2. С. 29-31.
2. Атутов Е.Б. Ломухин Ю.Л. Оценка угловых зависимостей коэффициента отражения от почвенно- лесных покровов Земли // Известия вузов. Физика. 2012. Т. 55. №8/2. С. 52-55.
3. Ломухин Ю.Л. Бутуханов В.П. Коэффициенты обратного рассеяния ровных и шероховатых проводящих поверхностей// Известия вузов. Физика. 2012. №8/2. С. 257-259.
4. Дагуров П.Н. Микроволновая радиометрия статистически-неоднородной поверхности // Известия вузов. Физика. 2012. Т. 55. №8/2. С. 31-32.
5. Дмитриев А.В., Дагуров П.Н. Дифракция Френеля на щели при скользящем падении волн // Известия вузов. Физика. 2012. Т.55. №8/2. С.64-65.
6. Дагуров П.Н., Дмитриев А.В., Дымбрылов Ж.Б., Чимитдоржиев Т.Н. Влияние слоистой структуры влажности почвы на работу интерферометрических радиолокаторов с синтезированной апертурой // Известия вузов. Физика. 2012. Т.55. №8/2. С.266-267.
7. Дагуров П.Н. Радиотепловое излучение поверхности, состоящей из двух полуплоскостей с различными электрическими свойствами // Известия вузов. Физика. 2012. Т.55. №8/2. С. 278-279.
8. Ветлужский А.Ю., Калашников В.П. Влияние лесной растительности на распространение волн VHF-UHF диапазонов разной поляризации // Известия вузов «Физика», № 8/2, 2012. С.262-264.
9. Ветлужский А.Ю., Калашников В.П. Экспериментальное изучение формирования боковых волн в лесных покровах земли // Известия вузов «Физика». № 8/2. 2012. С.264-266.
10. Татьков Г.И., Чимитдоржиев Т.Н., Быков М.Е. и др., Применение спутниковой радарной интерферометрии ALOS-PALSAR для картирования ареалов распространения и измерения интенсивности криогенного пучения грунтов // Инженерные изыскания. 2012. № 9. С. 28-34.
11. Чимитдоржиев Т.Н., Кирбижекова И.И., Леонов А.С., Быков М.Е. Формирование и развитие станových трещин ледового покрова озера Байкал

по данным ALOS PALSAR // Известия Вузов. Физика. 2012. № 8/2. С. 276-277.

12.Эпов М.И., Миронов В.Л., Чимитдоржиев Т.Н. и др. Наблюдение просадок поверхности земли в районе подземных угольных выработок Кузбасса по данным радиолокационной интерферометрии ALOS PALSAR. // Исследование Земли из космоса. 2012. №4. С. 26-29.

13.Бутуханов В.П., Ломухин Ю.Л. Вариации озона в атмосфере по спутниковым данным и наземным измерениям в районе г. Улан-Удэ// Исследование земли из космоса. 2012. №6. С.88-93.

14.Ветлужский А.Ю. Дефектоскопия фотонных кристаллов на основе использования их резонансных свойств // Известия вузов «Физика». № 8/2. 2012. С. 310-312.

15.Ветлужский А.Ю., Машанова Т.Д. Локализация излучения в случайных дискретных средах: два метода определения параметров локализации // Электромагнитные волны и электронные системы. 2012. № 12. С. 11-15.

Междисциплинарный интеграционный проект СО РАН № 8 «Оценка влияния антропогенных источников Прибайкалья на качество атмосферы над акваторией Байкала на основе экспериментальных наблюдений и математического моделирования».

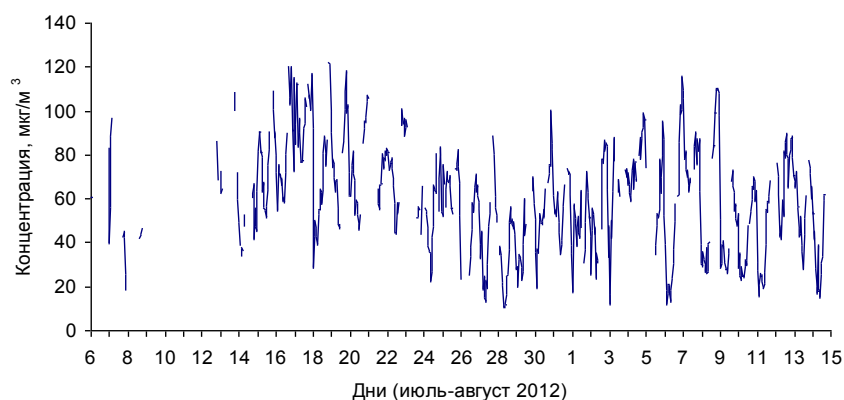
Научный координатор: д.г.н. Ходжер Т.В.

Организации-исполнители: ЛИН СО РАН, ИФМ СО РАН, ИОА СО РАН, ИВМиМГ СО РАН.

Руководитель подпроекта: к.ф.-м.н. Жамсуева Г.С.

Исполнитель: лаборатория дистанционного зондирования атмосферы:

1. Среднечасовая концентрация приземного озона в летом 2012 г. колебалась в пределах 10-122 мкг/м³. Содержание озона в атмосфере оз. Байкал зависит от метеорологической обстановки. В дневное время в пасмурную погоду, во время дождя или в туман среднечасовая концентрация приземного озона, как правило, составляет 40-90 мкг/м³, в то время как в солнечную погоду или при переменной облачности среднечасовое содержание озона составляет 55-122 мкг/м³. В ночные, утренние или вечерние часы вне зависимости от метеорологической обстановки (рис. 1) отмечаются более низкие концентрации.



16.

17. Рис. 1. Динамика приземного озона в атмосфере юго-восточного побережья оз. Байкал (ст. Боярск, июль-август 2012 г.).

Междисциплинарный интеграционный проект СО РАН № 73 «Изучение закономерностей и механизмов сеймотектонических процессов в земной коре методами физического моделирования на ледовом покрове озера Байкал». Научный координатор: чл.-к. РАН Псахье С.Г.

Организации исполнители: ИФПМ СО РАН, ИНГГ СО РАН, ИГМ СО РАН, ЛИИ СО РАН, ИЗК СО РАН, ГИН СО РАН, ИФМ СО РАН.

Руководитель подпроекта: д.т.н. Чимитдоржиев Т.Н.

Исполнитель: лаборатория радиозондирования природных сред.

1. В рамках проекта дополнена база радарных интерферометрических данных на южную часть оз. Байкал съемками С-диапазона RADARSAT2 в районе Большое Голоустное – Горячинск (южная часть озера) в марте-апреле 2012 г. Проведена обработка радарных данных по ледовому покрову озера Байкал RADARSAT2 2012 года и ALOS PALSAR 2007-2010 годов методами дифференциальной и спекл-интерферометрии. Методом спекл-интерферометрии построено поле векторов горизонтального смещения ледовых блоков в Баргузинском заливе в период ледостава 2007-2009 гг. Для оценки деформаций и состояния напряженности ледовых полей радарные изображения проанализированы методами текстурного анализа. Проведено статистическое исследование для оценки информативности текстурных характеристик радарных изображений (рис. 1).

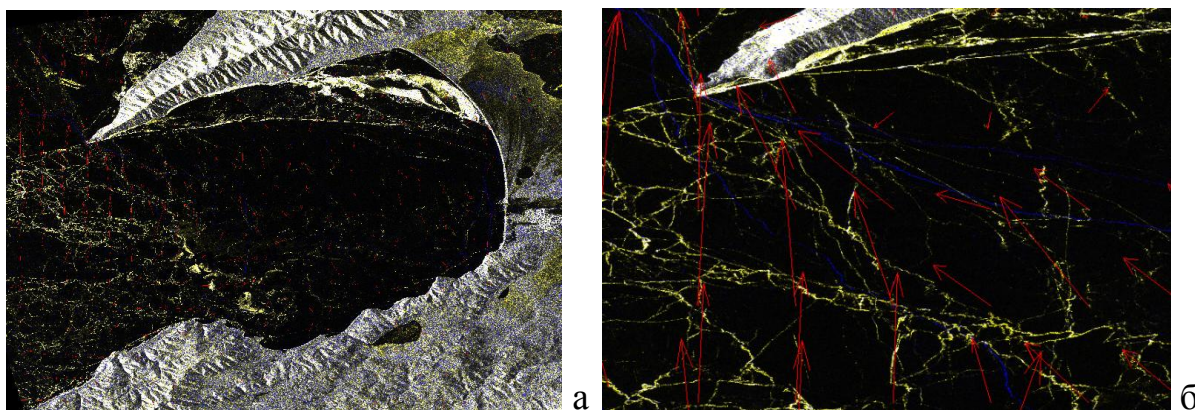


Рис. 1. Динамика ледового покрова Баргузинского залива (а) и фрагмента ледового поля южнее п-ва Святой нос (б) по результатам спекл-интерферометрии в интервале 20 января – 7 марта 2009 г.

Междисциплинарный интеграционный проект СО РАН № 111 «Сейсмичность, напряженно-деформированное состояние и объемная структура очаговых зон землетрясений байкальского рифта».

Научный координатор: д.г.-м.н. Татьков Г.И.

Организации исполнители: ГИН СО РАН, ИНГГ СО РАН, ИЗК СО РАН, ИФМ СО РАН, Байкальский филиал ГС.

Руководитель подпроекта: д.т.н. Чимитдоржиев Т.Н.

Исполнитель: лаборатория радиозондирования природных сред.

1. В рамках проекта для выделения двух и трехлетних геодинамических трендов и уменьшения влияния сезонной динамики поднятия/опускания земной поверхности были подобраны интерферометрические пары на основе радарных данных ALOS PALSAR 2007-2010 гг. Для валидации полученных результатов была проведена оценка вертикальных отрицательных сдвигов южного берега относительно более стабильного северного берега (Приморского хребта) озера Байкал. В целом, можно отметить, что большая часть геологических разломов совпадает с границами геодинамики, установленной по данным радиолокационной интерферометрии. Указанные вертикальные сдвиги геоблоков произошли за двухлетний период и по сроку коррелируют с результатами измерений уровня грунтовых вод, которые продемонстрировали два последовательных опускания поверхности в мае 2008 г. на суммарную величину 1÷2 см. (рис. 1).

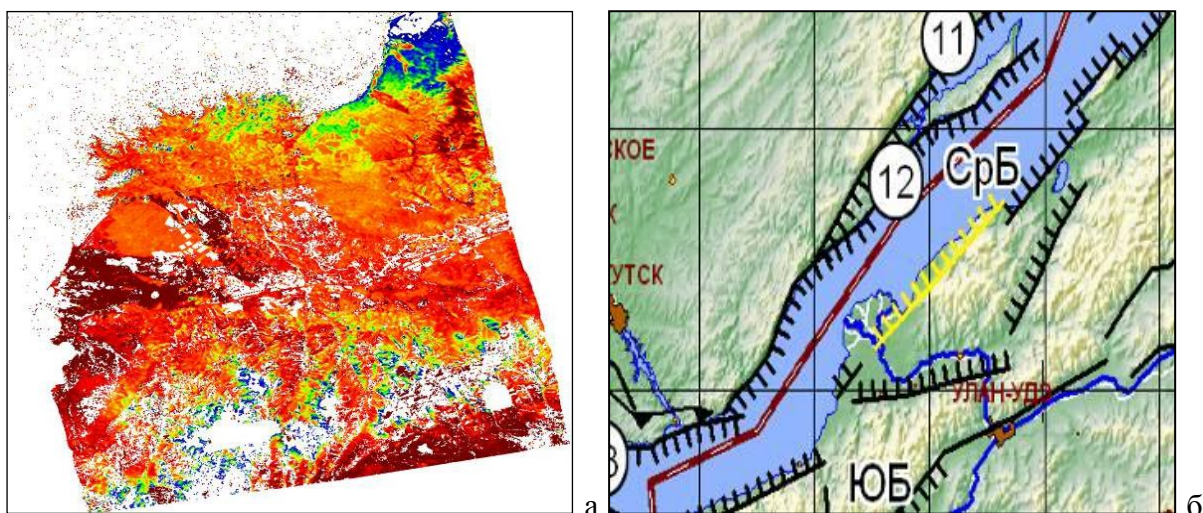


Рис. 1. а) Карта вертикальных смещений на основе радарных данных ALOS PALSAR за период с января 2007 по февраль 2009 г.; б) Район исследований на карте.

Проект РФФИ № 12-05-31208 мол_а «Прогнозирование максимальных уровней приземного озона в Байкальском регионе с использованием дискриминантного анализа».

Руководитель: к.т.н. Цыдыпов В.В.

Проанализирована зависимость суточной изменчивости приземного озона на оз. Байкал по результатам круглосуточных измерений в летний период г. в двух точках (стационар «Боярский» и береговая зона оз. Байкал), пространственно разнесенных по длине на 500 м и по высоте на 50 м. Сравнение круглосуточных синхронных измерений концентраций приземного озона и метеорологических параметров атмосферы вблизи границы системы «вода-атмосфера» оз. Байкал и на расстоянии показало значимые различия (до 20 мкг/м³ и выше) концентраций приземного озона в ночное время при развитии температурных инверсий. Сопоставление данных в дневное время показало сходство средних значений и динамики изменения концентраций приземного озона в летний период (рис. 1).

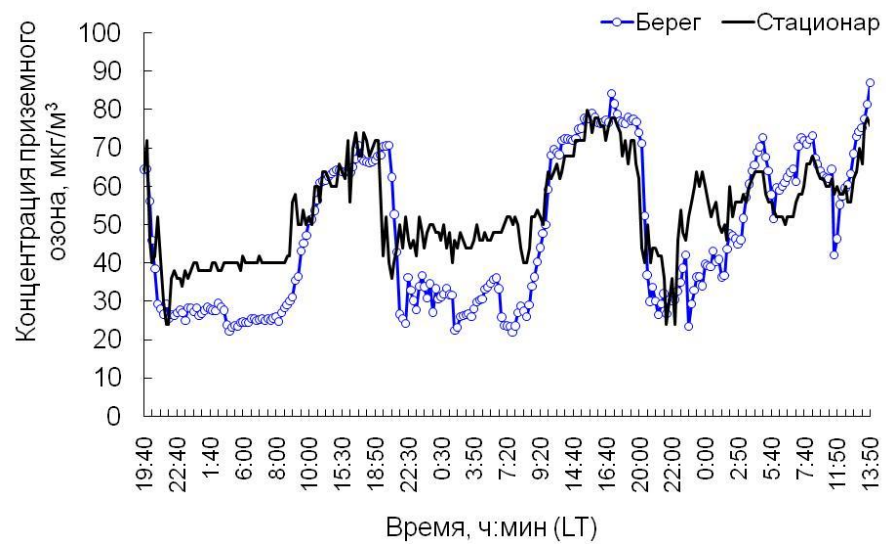


Рис. 1. Временной ряд содержания приземного O_3 на стационаре «Боярский» и на берегу озера Байкал.

Отчет ИФМ СО РАН за 2013 год

Приоритетное направление П.10. Актуальные проблемы оптики и лазерной физики, в том числе достижение предельных концентраций мощности и энергии во времени, пространстве и спектральном диапазоне, освоение новых диапазонов спектра, спектроскопия сверхвысокого разрешения и стандарты частоты, прецизионные оптические измерения, проблемы квантовой и атомной оптики, взаимодействие излучения с веществом.

Программа П.10.3. Фундаментальные проблемы оптики атмосферы, включая молекулярную спектроскопию, распространение оптических волн, атмосферную коррекцию, дистанционную диагностику окружающей среды.

Проект П.10.3.5. Локальная и дистанционная диагностика приземного слоя атмосферы и подстилающей поверхности в регионе оз. Байкал и аридной зоне Центральной Азии.

Научный руководитель: к.ф.-м.н. Жамсуева Г.С.

Исполнитель: лаборатория дистанционного зондирования атмосферы, лаборатория радиозондирования природных сред.

1. Разработан и апробирован статистический метод прогноза максимальных дневных концентраций приземного озона, основанный на метеорологических данных и данных наблюдений за содержанием газов – предшественников озона применительно к условиям г. Улан-Удэ, и построены соответствующие различные прогностические схемы. Для построения статистической модели прогноза максимальных уровней озона для г. Улан-Удэ были использованы данные непрерывных круглосуточных измерений озона (рис. 4.1), окислов азота, метеорологических параметров за период с 2010 по 2012 гг. с использованием алгоритмов статистического пакета STATISTICA 6.

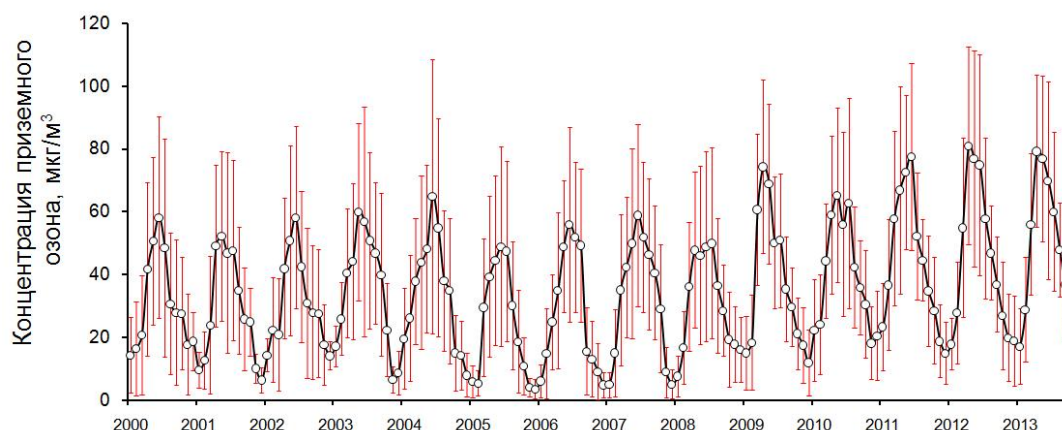


Рис.4.1. Временной ход средних месячных приземных концентраций озона в г. Улан-Удэ за период 2000-2013 гг. и их среднеквадратичные вариации

Для построения регрессионного уравнения и выбора наиболее значимых предикторов были проведены расчеты для 2-х разных выборок: первая выборка - по данным наблюдений ПКО за период с 2009 по 2010 гг., вторая выборка с 2011 по 2012 гг. Для построения прогностических моделей предварительно оценивалась связь максимальных концентраций приземного озона с разными предикторами в разные периоды наблюдений. Для первой выборки в качестве предикторов использовались данные наблюдений метеорологических параметров, полученные с помощью акустической метеостанции АМК за тот период, когда отмечались максимумы ПКО. Для второй выборки в качестве предикторов привлечены наземные данные стандартных метеорологических наблюдений: температуры, влажности, давления, скорости и направления ветра в г. Улан-Удэ и данные о концентрации окислов азота - предшественников озона.

Оценка эффективности схем по использованному и независимому материалу показала, что наиболее высокая предсказуемость максимальных концентраций составила 97% для прогноза, учитывающего в качестве предикторов – концентрации газов предшественников озона наряду с метеорологическими параметрами.

Угловая анизотропия

2. Развита теория обратного отражения в поглощающих средах, учитывающая наличие встречных волн, а также многомодовый механизм отражения и преломления на границе раздела. Получены формулы для коэффициентов обратного рассеяния неровных границ, уточнен механизм образования эффекта угловой анизотропии, заключающийся в том, что в случае узкой диаграммы направленности антенны источника при $\varphi_1 \approx 0$ имеет место отражение от границы сред, а при $\varphi_1 > 0$ преобладает объемное переизлучение. В данном случае зависимость уровня обратного отражения от среднеквадратического отклонения СКО неровностей различна.

Коэффициент обратного рассеяния с учетом шероховатости границы раздела однородных сред и узкой диаграммы направленности имеет вид:

$$\sigma^{\parallel\perp}(\varphi_1) = 20 \lg \left\{ \left[1 - [V^{\parallel\perp}(\varphi_1)]^2 \right] e^{-2ik_2 h_2} \left[1 + \frac{V^{\parallel\perp}(0)GF(\varphi_1)}{[1 - [V^{\parallel\perp}(0)]^2]} e^{2ik_2 h_2} \right] \right\} \Phi^{\parallel\perp}(\varphi_1). \quad (1)$$

Здесь, $V^{\parallel\perp}(\varphi_1) = \frac{Z_1^{\parallel\perp} \text{Cos}(\varphi_1) - Z_2^{\parallel\perp} \text{Cos}(\varphi_2)}{Z_1^{\parallel\perp} \text{Cos}(\varphi_1) + Z_2^{\parallel\perp} \text{Cos}(\varphi_2)} \times \exp(-2ik^2\Delta^2)$, $Z_1^{\parallel} = \sqrt{\frac{1}{\varepsilon_1}}$, $Z_2^{\parallel} = \sqrt{\frac{1}{\varepsilon_2}}$, $Z_1^{\perp} = \sqrt{\varepsilon_1}$,
 $Z_2^{\perp} = \sqrt{\varepsilon_2}$,

Δ - среднеквадратическое отклонение неровностей границы, φ_1 и φ_2 - углы падения и преломления, соответственно, G - коэффициент усиления антенны, $F(\varphi_1) = a \left(e^{-\left(\frac{\varphi_1}{\beta}\right)^2} \right)$ - диаграмма направленности антенны, β - ширина

диаграммы направленности, $h_2 = \frac{1}{\text{Im}(k_2)}$ - максимальная глубина проникновения поля во вторую среду, $k_2 = \frac{\omega}{c} \sqrt{\varepsilon_2}$.

$$V^{\parallel}(0) = 1, V^{\perp}(0) = -1.$$

Если направление облучения поверхности не меняется, то $\Phi^{\parallel}(\varphi_1) = \Phi^{\perp}(\varphi_1) = 1$.
 Если направление облучения изменяется, то $\Phi^{\parallel}(\varphi_1) = \text{Cos} \varphi$, $\Phi^{\perp}(\varphi_1) = \text{Cos}^2 \varphi$.

Значки \parallel и \perp означают вертикальную (ТМ) и горизонтальную (ТЕ) поляризации.

Из (1) следует:

- обратное отражение определяется двумя механизмами: рассеянием границей и переизлучением из объема второй среды;
- обратное отражение существует не только в случае шероховатой поверхности, но и при гладкой границе раздела;
- в случае узкой диаграммы направленности радара основной вклад в обратное отражение при $\varphi_1 \approx 0$ вносит рассеяние границей, с увеличением φ_1 возрастает роль объемного рассеяния.

На рисунке 4.2 приведены рассчитанные по (2) и экспериментальные угловые зависимости коэффициента обратного рассеяния в случае подстилающей поверхности с различными СКО, при частоте 1,5 ГГц и ширине диаграммы направленности антенны $\beta=8,30$.

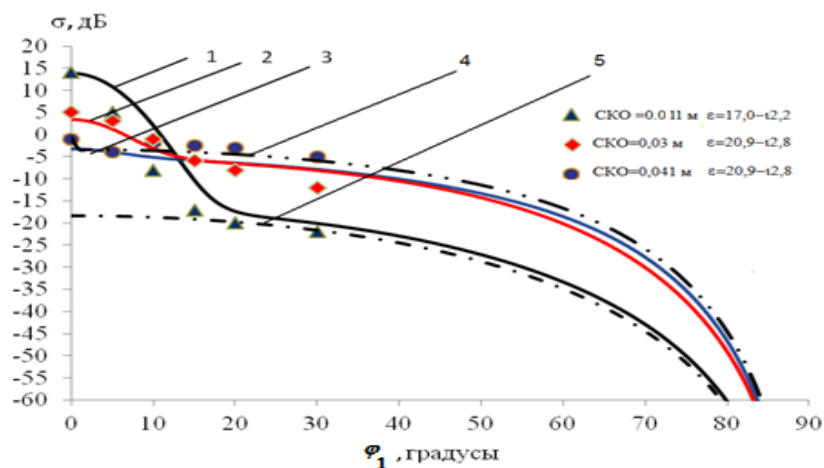


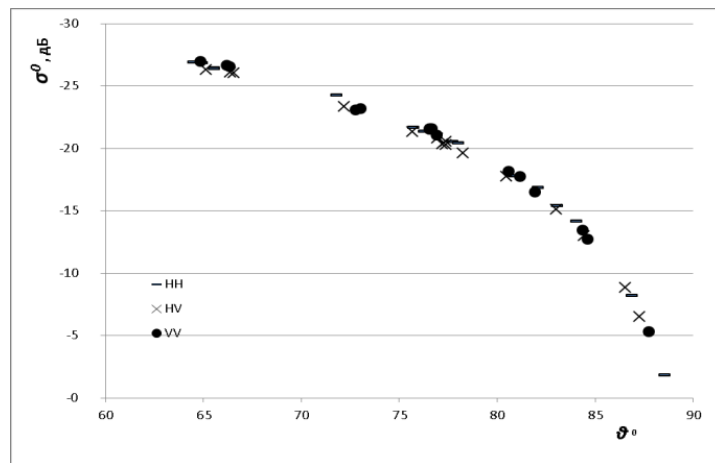
Рис. 4.2. Угловая зависимость коэффициента обратного отражения при различных шероховатостях поверхности раздела сред, где 1, 2, 3 расчетные кривые σ при $\Delta = 0,011$ м, 0,03 м, 0,041 м, символами \blacktriangle , \blacklozenge , \bullet обозначены соответствующие измеренные значения. Кривые 4 и 5 приведены для случая источника с широкой диаграммой направленности

На рисунке 4.2 видно хорошее согласие теоретических и экспериментальных результатов. Анализ угловых зависимостей на рисунке показывает, что имеет место анизотропия коэффициентов обратного отражения: при углах $\varphi_1 \approx 0$ $\sigma_{\text{нн}}$ уменьшается с увеличением СКО неровностей, а при $\varphi_1 > 0$ $\sigma_{\text{нн}}$ увеличивается с ростом СКО. Из графика также следует, что обратное отражение имеет место, как при шероховатых границах, так и при квазигладкой поверхности.

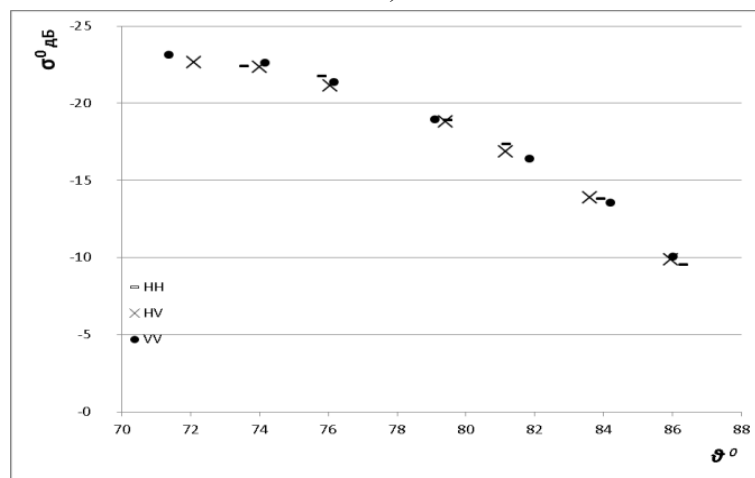
Обратное отражение почвенно-лесного покрова

3. Проведено экспериментальное исследование угловой зависимости коэффициента обратного рассеяния почвенно-лесного покрова на длине волны $\lambda = 3$ см. Установлено, что при углах падения близких к скользящим отсутствует поляризационная зависимость коэффициента обратного рассеяния.

На рисунках 4.3а, б показаны угловые зависимости обратного отражения смешанного леса и соснового подлеска, соответственно. Приводятся данные σ при вертикальной, горизонтальной и кросс поляризациях.



а)



б)

Рис. 4.3. Угловые зависимости коэффициента обратного рассеяния (а – смешанный, б – сосновый подлесок)

Из рисунка 4.3а, б видно, что при всех типах поляризации угловое распределение коэффициента обратного рассеяния одинаково.

Публикации:

1. Заяханов А.С., Жамсуева Г.С., Цыдыпов В.В., Бальжанов Т.С. Результаты мониторинга приземного озона в атмосфере Байкальского региона // Труды совещания-семинара «Проблемы мониторинга приземного озона и пути нейтрализации его вредного влияния». М.: 2013. С. 54-62.

2. Ломухин Ю.Л., Атутов Е.Б., Бутуханов В.П. Оценка частотных и угловых зависимостей коэффициентов отражения от почвенно-лесных покровов Земли // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2013. Т.10. №2. С.63-70.

3. Ломухин Ю.Л. Многомодовая структура волн в граничащих однородных средах// Известия ВУЗов. Физика. Томск, 2013. № 8/2. С.27-30.

4. Ломухин Ю.Л., Атутов Е.Б., Бутуханов В.П. Угловая анизотропия коэффициента обратного рассеяния неровной поверхности // Известия ВУЗов. Физика. Томск, 2013. № 8/2. С.8-10.

5. Доржиев Б.Ч., Очиров О.Н., Базаров А.В. Сверхкороткоимпульсная радиолокация лесных сред // Электромагнитные волны и электронные системы. №2. 2013. с.44-50.

6. Доржиев Б.Ч., Очиров О.Н., Содномов Б.В. Сверхкороткоимпульсное зондирование лесных сред в X-диапазоне // Известия ВУЗов. Физика. №8/2. Томск. 2013. С. 184-186.

Партнерский интеграционный проект СО РАН № 25 «Атмосферный аэрозоль азиатской части России и обменные процессы в системе атмосфера-водная поверхность-биота».

Научный координатор: д.ф.-м.н. Сакерин С.М.

Организации-исполнители: ИОА СО РАН, ИФМ СО РАН, ЛИИ СО РАН, ИКФИА СО РАН, УрФУ, ИПЭ УрО РАН, ИАПУ ДВО РАН, ТОИ ДВО РАН, УАФО ДВО РАН

Руководитель подпроекта: к.ф.-м.н. Заяханов А.С.

Исполнитель: лаборатория дистанционного зондирования атмосферы.

1. Проанализированы сезонные вариации АОТ атмосферы в Байкальском регионе, обусловленные внутригодовой изменчивостью радиационного режима, состоянием подстилающей поверхности и др. Наиболее общей закономерностью, свойственной для региона оз. Байкал, является увеличение АОТ в весенне-летний период и снижение в осенне-зимние месяцы. Значения межгодовых отклонений АОТ в различные сезоны года, обусловленные многообразием атмосферных ситуаций, довольно высоки. Наибольшее влияние на замутненность атмосферы в Байкальском регионе, как и на всей территории Сибири, оказывают лесные пожары. На основе данных наблюдений АОТ и повторяемости лесных пожаров за период 2006 – 2012 гг. проведена оценка вклада лесных пожаров на средние годовые значения АОТ. Отмечена высокая корреляция количества очагов лесных пожаров с характеристиками АОТ за весь период наблюдений. Следует отметить, что максимум активности очагов лесных пожаров на исследуемой территории в различные годы наблюдается в разные сезоны, начиная с апреля по август. На рис. 1 для примера приведены годовые вариации средних месячных значений $\square^a(0,5)$, наблюдаемых на ст. Торы и количества

очагов лесных пожаров (N) на исследуемой территории в разные годы, свидетельствующие о неравномерности временного распределения эмиссии дымового аэрозоля

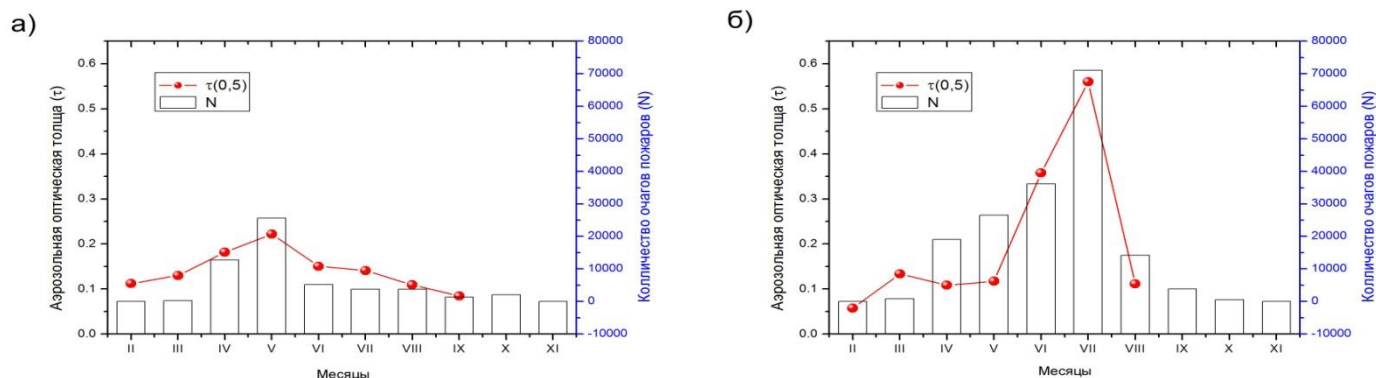


Рис. 1. Годовой ход АОТ на ст. Торы и количества очагов пожаров на исследуемой территории а) – 2009 г., б) - 2012 г.

Междисциплинарный интеграционный проект СО РАН № 73 «Изучение закономерностей и механизмов сеймотектонических процессов в земной коре методами физического моделирования на ледовом покрове озера Байкал».

Научный координатор: чл.-к. РАН Псахье С.Г.

Руководитель подпроекта: д.т.н. Т.Н. Чимитдоржиев.

Исполнитель: лаборатория радиозондирования природных сред.

Методом спекл-интерферометрии и при помощи оценки смещений уголкового отражателя радарного сигнала получено векторное поле сдвигов крупных (более 200 м) ледовых блоков оз. Байкал по данным спутниковых радиолокационных систем RADARSAT-2 и TanDEM-X.

Для исследования динамики ледового покрова оз. Байкал в 2013 г. были использованы радиолокационные данные, полученные в С- и Х-диапазонах, соответственно длины волн 5,6 см и 3 см. Для заверки результатов дистанционных измерений в качестве контрольных реперных точек были использованы радиолокационные уголкового отражатели (рис. 1), которые устанавливались на время очередного пролета спутника над реперными точками.



Рис. 1. Радиолокационный уголкоый отражатель

Спутник RADARSAT-2 (длина волны 5,6 см) точно повторяет геометрические параметры съемки одной местности каждые 24 дня, поэтому была запланирована съемка ледового покрова оз. Байкал в районе п. Боярск на 7 и 31 марта 2013 г. Дополнительно к данной радиолокационной паре изображений, в рамках соглашения между немецким аэрокосмическим центром DLR и ИФМ СО РАН, были получены данные TanDEM-X (3-см) за 26 и 31 марта 2013 г.

Установка 4-х уголковых отражателей выполнялась одновременно с GPS-позиционированием, которое выполнял ГИН СО РАН. Уголковые отражатели с размером ребра 2 м четко идентифицировались на всех изображениях (рис. 2), отражатели с размерами ребра, меньшими 1 м не определялись на фоне спекл-шума, характерного для радиолокационных изображений.

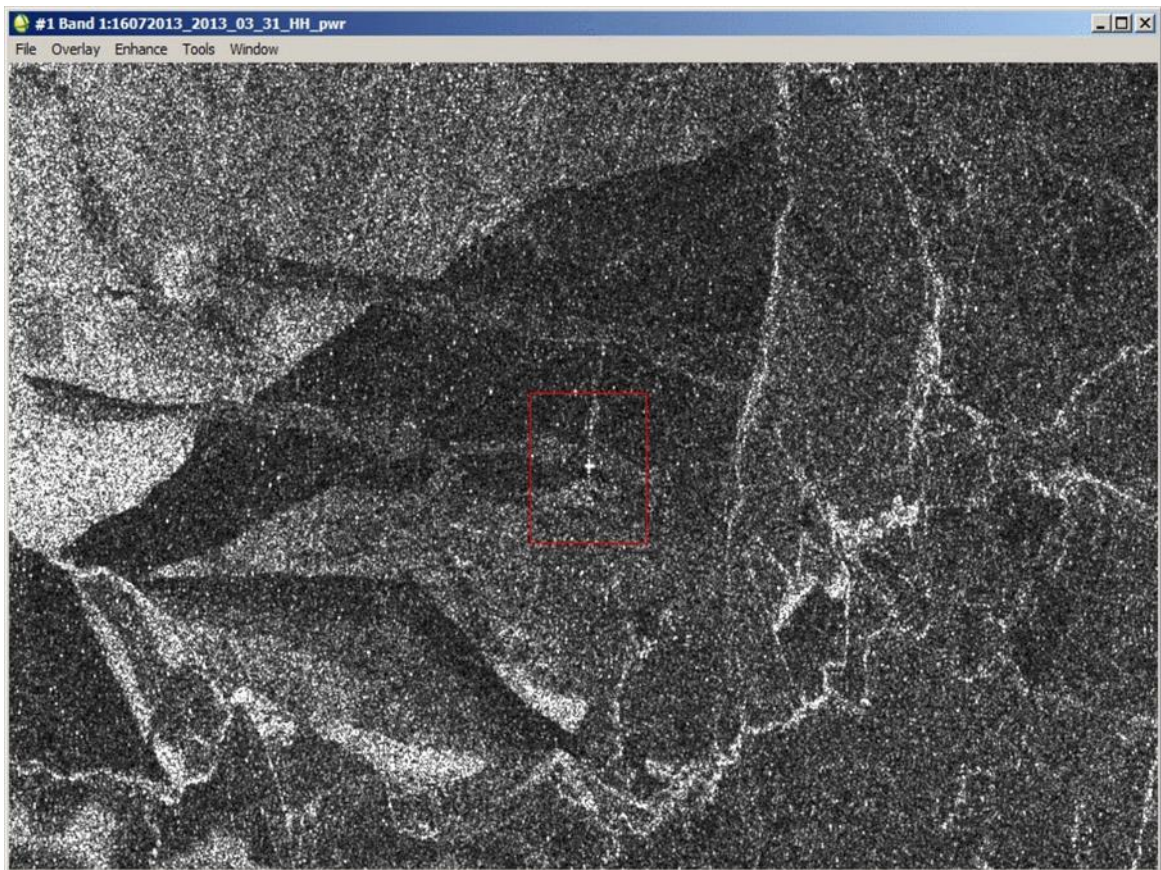


Рис. 2. Радиолокационное изображение ледового покрова (RADARSAT-2, 7.03.2013 г.)

Радиолокационная спекл-интерферометрия смещений крупных ледовых блоков по реперным особенностям ледового покрова в виде трещин, торосов, а также по двум уголковым отражателям показала, что значимых смещений за данный период по данным RADARSAT-2 не происходило. GPS измерения, проведенные за этот же период, показали, что максимальные смещения достигали 1,2 м. Поскольку величина установленного смещения в несколько раз меньше пространственной разрешающей способности спутникового радара RADARSAT-2 (8 м), то очевиден полученный результат.

Аналогичная оценка, выполненная по данным спутниковой бистатической радиолокационной системы TanDEM-X с пространственным разрешением 2 м, позволила выполнить построение векторного поля смещений крупных ледовых блоков за временной промежуток с 26 по 31 марта (рис. 3) с субпиксельной точностью (менее размера пиксела).

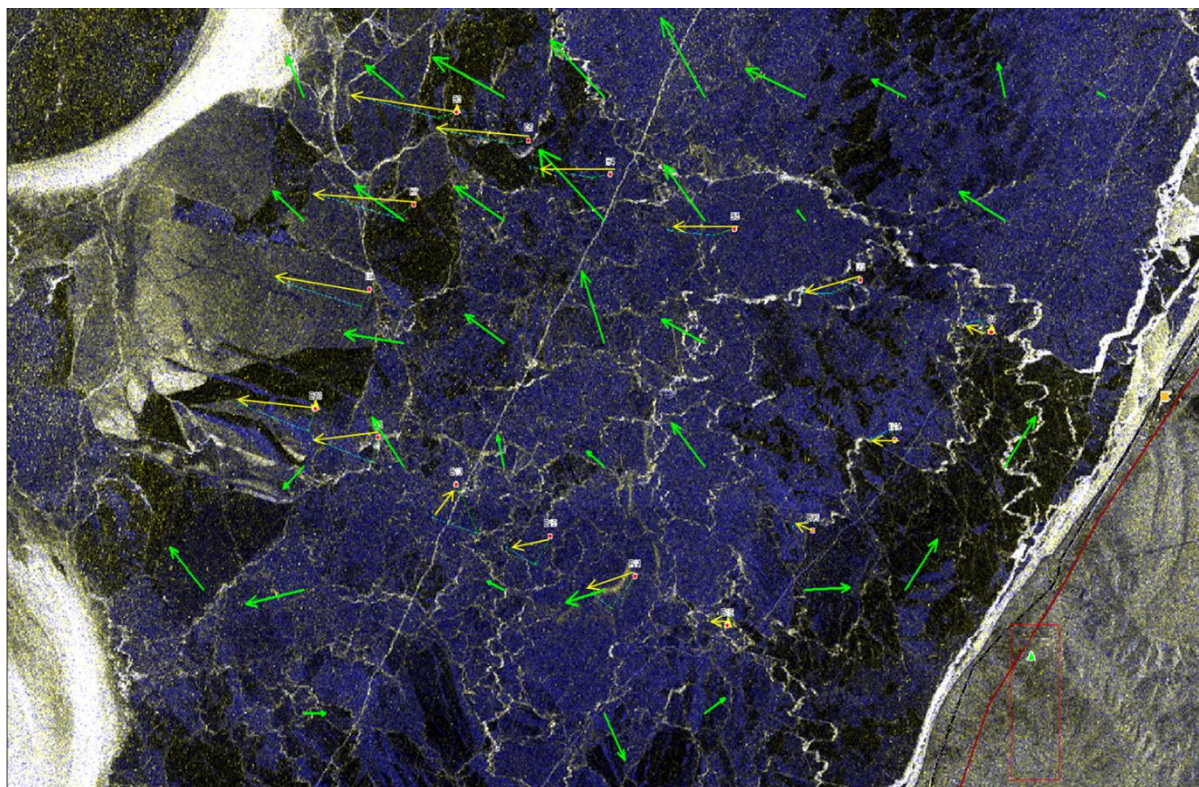


Рис. 3. Векторное поле смещений крупных ледовых блоков по данным TanDEM-X (зеленый цвет) и GPS измерений (желтый цвет)

На рисунке 3 зеленым цветом обозначены вектора смещений полученные по радарным данным TanDEM-X 26 и 31 марта 2013 г., желтым цветом – смещения на основе GPS за период с 7 по 31 марта. Некоторое расхождение направлений векторов связано с различием временных промежутков, когда выполнялись данные измерения.

В целом полученное векторное поле позволило оценить динамику сдвигов ледовых блоков в марте 2013 г. вблизи населенных пунктов Боярск-Мысовая.

Междисциплинарный интеграционный проект СО РАН № 111 «Сейсмичность, напряженно-деформированное состояние и объемная структура очаговых зон землетрясений Байкальского рифта».

Научный координатор: к.г.-м.н. Тубанов Ц.А.

Руководитель подпроекта: д.т.н. Т.Н. Чимитдоржиев.

Исполнитель: лаборатория радиозондирования природных сред.

1. На основе данных бистатической радиолокационной системы высокого разрешения X-диапазона TerraSAR-X/TanDEM-X созданы цифровые модели местности для центральной части Байкальского рифта.

2. Методом радиолокационной интерферометрии по паре 21.06.2008÷09.08.2009 установлено, что амплитуда деформаций в районе максимихинско-безымянской горной системы за время между двумя последовательными сейсмическими активизациями составила 5,5 см. Выполнено зонирование по интенсивности и направлению вертикальных движений на условно-стабильную зону, зону поднятия до 3 см в верховьях Турки и две зоны опускания до -1,5 и -2,5 см.

3. Выполнена оценка деформаций геологических блоков сейсмически-активной северной части Байкальского рифта на основе дифференциальной радиолокационной интерферометрии дм диапазона длин волн.

На рисунке 1 представлена интерферограмма, характеризующая геодинамику за временной промежуток с 24.12.2006 по 13.02.2013 с геопривязкой к веб-порталу Google. Сиреневый цвет характеризует стабильные участки, желтый цвет – деформации в пределах 1 см, голубой цвет – опускание геоблока до 2 см.

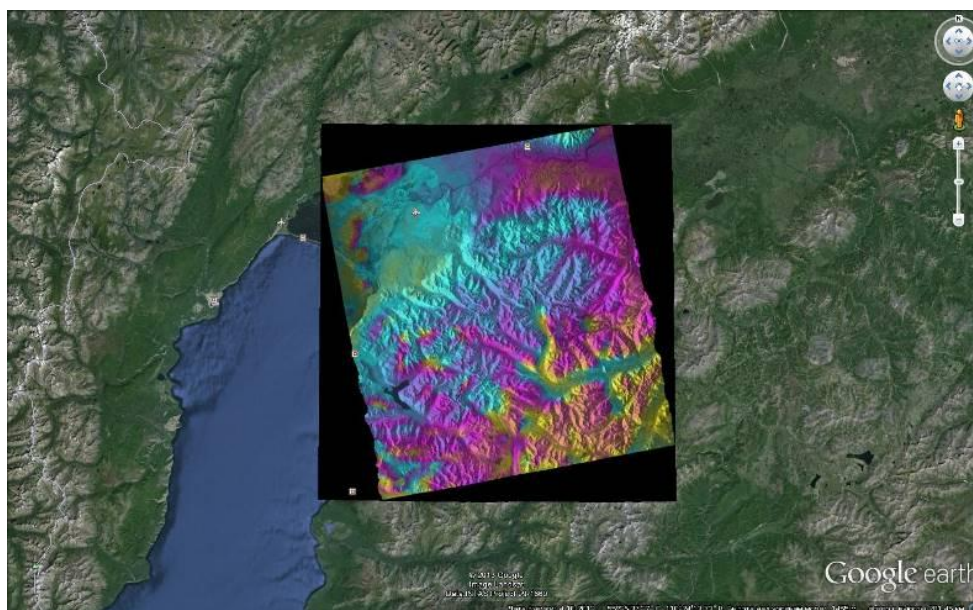


Рис. 1. Распределение стабильных и подвергшихся деформации геоблоков Байкальского рифта на основе спутниковой радиолокационной интерферометрии с 24 декабря 2006 г по 13 февраля 2013 г.

4. На основе радиолокационных интерферометрических измерений выявлены геодинамические процессы, совпадающие по времени с серией сейсмических событий 2008 г. в южной части Байкальского рифта.

На рисунке 2 представлена интерферограмма (с геопривязкой к геопорталу Google), полученная по радиолокационной паре ALOS PALSAR за 19.11.2007÷24.02.2010.

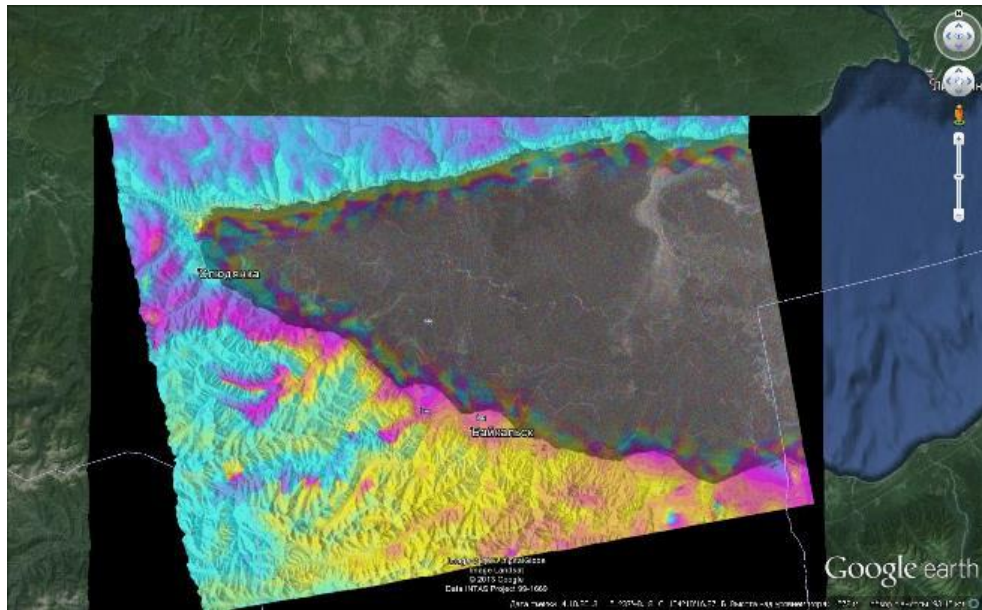


Рис. 2. Интерферограмма южной части Байкальского рифта