

МОНИТОРИНГ ПРОЦЕССОВ ВОССТАНОВЛЕНИЯ АНТРОПОГЕННО-НАРУШЕННЫХ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ НА ГРАНИЦЕ ЗОНЫ ЮЖНОЙ ТАЙГИ И ЛЕСОСТЕПИ СИБИРИ



Пономарева Т.В.(1, 2), bashkova_t@mail.ru,
Пономарев Е.И.(1, 3), evg@ksc.krasn.ru,
Сорокин А.В.(3, 4),
Швецов Е.Г.(1), Аврова А.Ф.(1)

- (1) Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Федеральный исследовательский центр «КНЦ СО РАН» Красноярск;
(2) Сибирский федеральный университет, Красноярск;
(3) Единый региональный центр дистанционного зондирования ФИЦ КНЦ СО РАН, Красноярск;
(4) Сибирский государственный университет науки и технологий им. М.Ф. Решетнева (СибГУ), Красноярск, Россия

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант №17-04-00589)

Сокращение площади сельскохозяйственных угодий в последние 20 лет характерно практически для всех субъектов Российской Федерации. В структуре лесных земель зафиксирована тенденция роста доли покрытых лесом площадей. В азиатской части РФ в начале 21 в. доля лесной растительности увеличилась на ~5% (с 82% до 87%) (Уткин, 2002; Люри, 2010). Естественный процесс восстановления зональной растительности приводит к изменению состояния старопашотных почв, что является важным фактором современной эволюции почв в РФ, а масштабы этих процессов актуализируют их изучение, в том числе разработку методов дистанционного анализа. Антропогенно-преобразованные почвы имеют свою уникальную структурную организацию профиля на уровне горизонтов и суб-горизонтов. Исходные почвенные профили трансформируются, нарушается их генетически обусловленное строение. Далее в процессе почвообразования формируются новые горизонты, не имеющие аналогов в естественных почвах. Все трансформации находят отражение в морфологических признаках почв, которые являются индикаторами изменения их экологического состояния. Для изучения структуры и динамики почв постагрогенных экосистем разработан метод сопряженной обработки спутниковой информации, данных наземной радиометрической съемки почв и бесконтактных инструментальных измерений на основе данных широкого спектрального диапазона.

I этап. Анализ данных спутниковой съемки

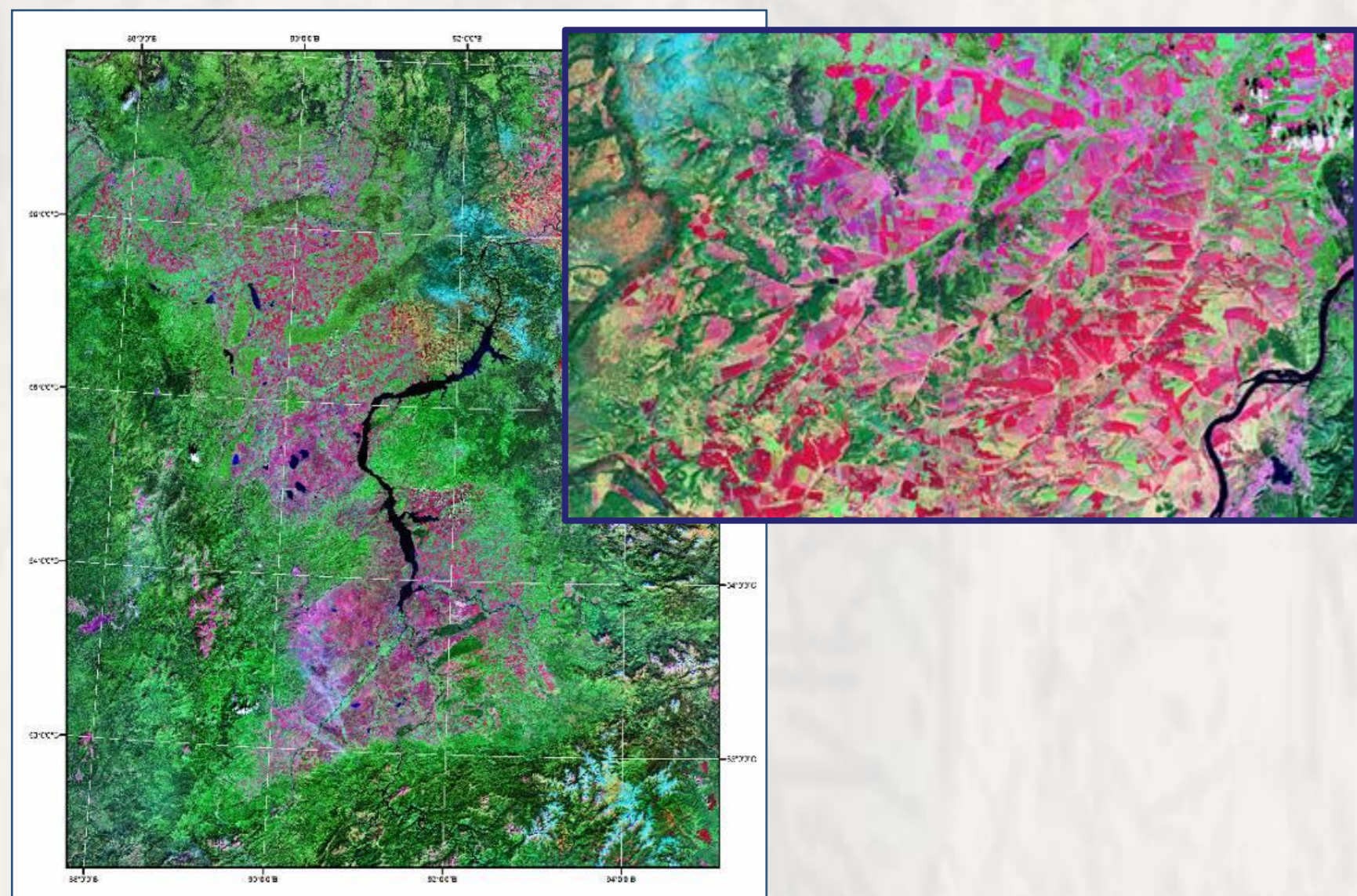


Рис.1. Изменение спектральных характеристик на ранее распаханых территориях на границе южной тайги и лесостепи Сибири.

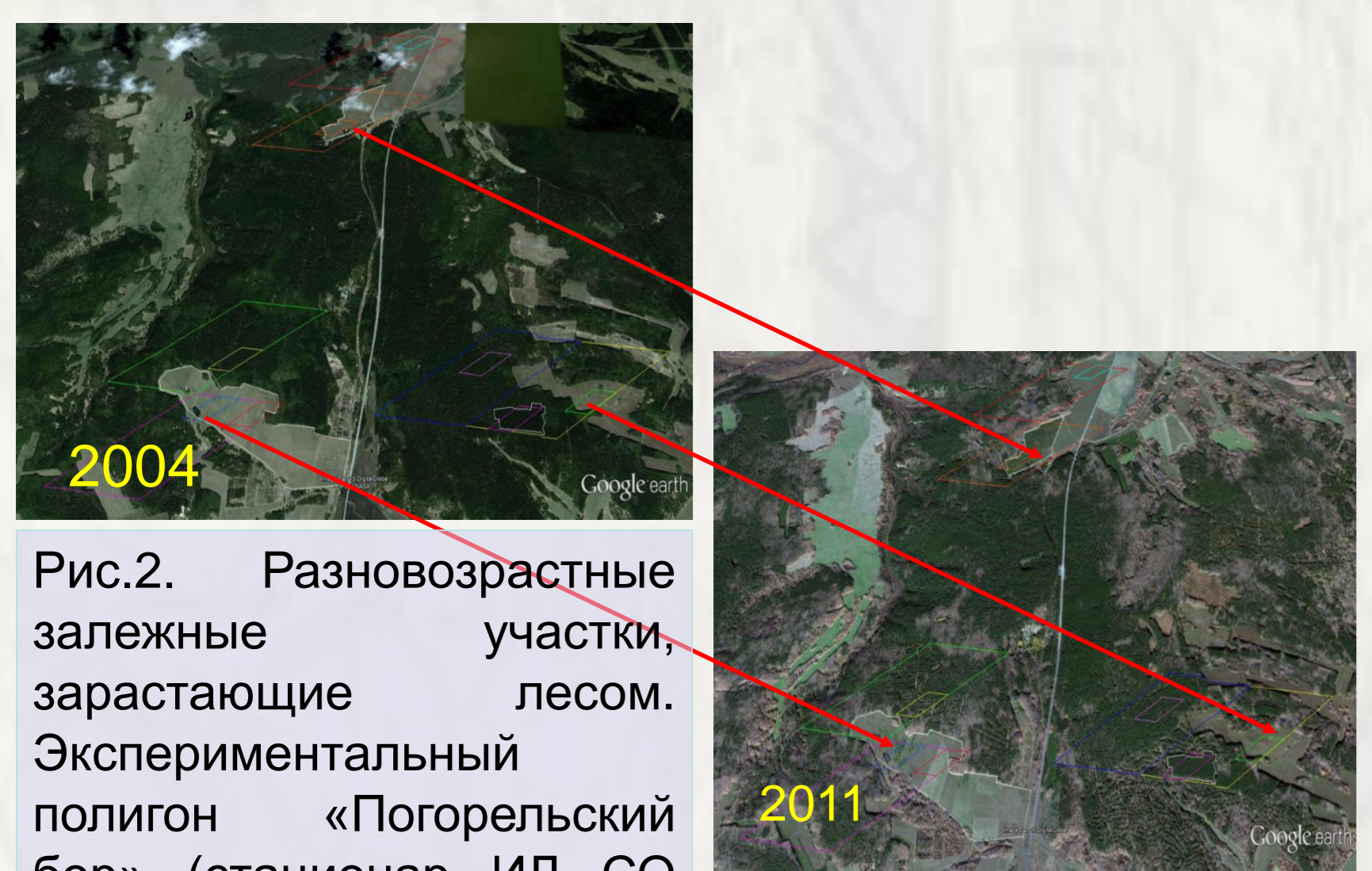


Рис.2. Разновозрастные залежные участки, зарастающие лесом. Экспериментальный полигон «Погорельский бор» (стационар ИЛ СО РАН, зона лесостепи).

Использованный временной ряд спутниковой информации был представлен съемками Landsat-5, 7, 8 (1975–2016 гг., база данных US Geological Survey; <http://earthexplorer.usgs.gov>); съемками высокого разрешения из каталога Google Earth (2000–2015 гг.); данными TERRA/Modis с разрешением 250–1000 м (1996–2015 гг., база данных ИЛ СО РАН и NASA Land Processes Distributed Active Archive Center; съемками высокого разрешения (2,6 м) с российского аппарата «Ресурс-П» (июнь, 2015 г., банк данных НЦ ОМЗ АО «Российские космические системы»).

На основе снимков «Ресурс-П» был реализован векторный слой полигонов на различных стадиях постагрогенного восстановления; слой в дальнейшем использовался в качестве маски при классификации спутниковых изображений. Долговременный банк данных съемки Landsat (TM, ETM) позволил уточнить датировки, проследить стадии формирования постагрогенных сообществ на 40-летнем интервале (1975–2015 гг.) и качественно оценить временную динамику спектральных признаков в «вегетационных каналах» (видимый и ближний ИК диапазоны).

II этап. Оценка влажности поверхностного слоя почв с использованием сигналов ГНСС

Опробован метод определения влажности почвы на основе интерференционных диаграмм, создаваемых сигналами навигационных спутников ГЛОНАСС и GPS. Влажность слоя растительности и поверхности почвы на глубине до 10 см восстанавливается по изменению характеристик интерферограммы. Параллельно с приемом сигналов ГНСС определялись температура и влажность почв, отбирались образцы почв для дальнейшей верификации данных, полученных на основе интерферограмм.

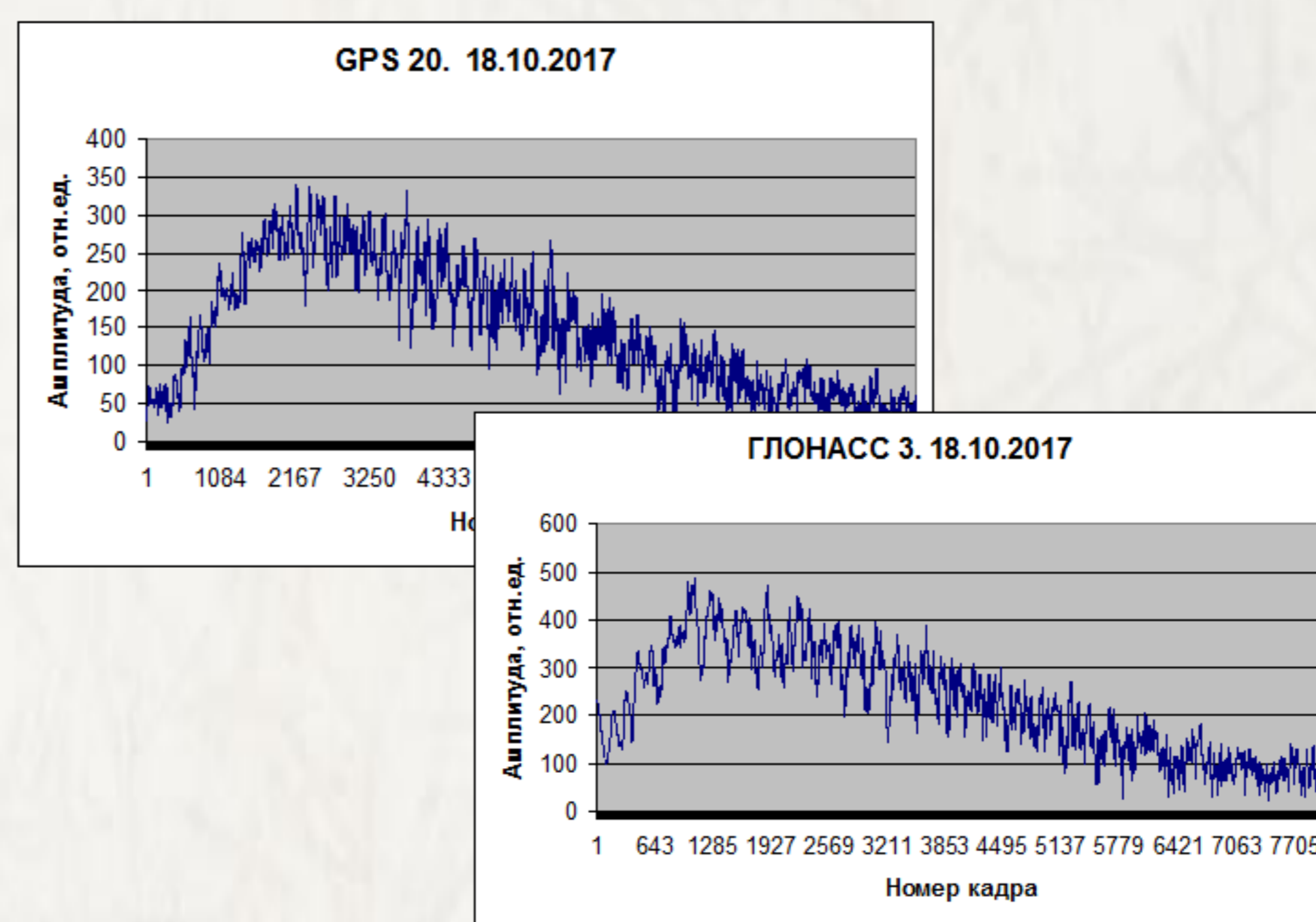


Рис.4. Интерферограммы сигналов ГНСС на покрытом травянистой растительностью экспериментальном участке старопашотных почв



Рис.5. Автономный измерительно-регистрирующий комплекс на базе серийного приемника сигналов ГЛОНАСС/GPS МРК-32Р.

III этап. Наземные исследования. Радиометрическая съемка почвенных профилей в инфракрасном диапазоне



Рис.6. Почвенные профили на участках с различной стадией постагрогенного восстановления. Морфологические признаки анализировались с использованием авторского метода съемки в инфракрасном (ИК) диапазоне ($\lambda = 7 - 13$ мкм) с помощью системы FLIR INFRACam. Результаты съемки после процесса калибровки представляют собой двумерный массив температурного поля профиля, с пространственным разрешением не хуже 2x2 см, чувствительностью не хуже 0,1 К.

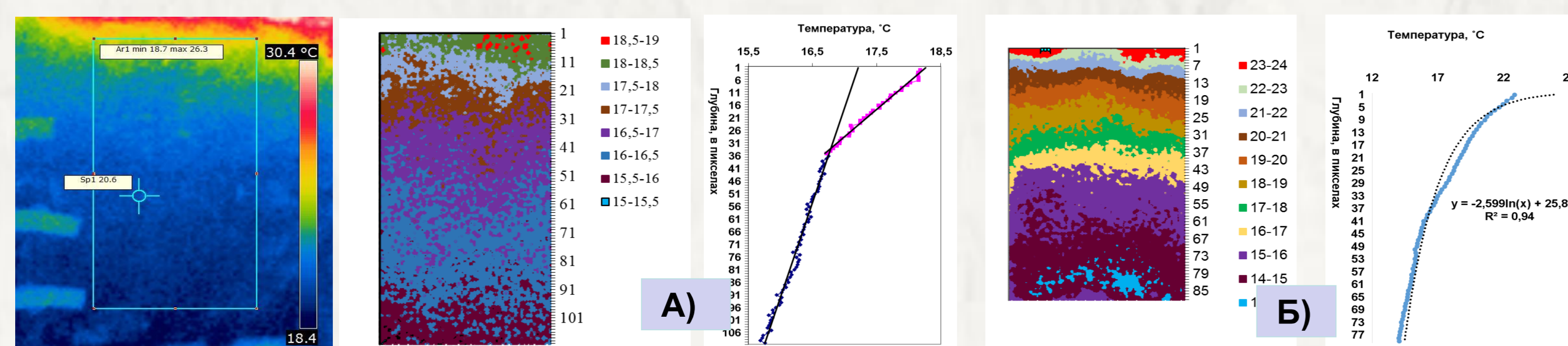


Рис.7. Тепловые портреты и распределение температуры в профиле почв, фиксирующие восстановительный процесс: фоновая серая почва (А), участок старопашотной почвы на лугу (Б).

IV этап. Георадарная съемка почв

Георадиолокация как неразрушающий метод исследования успешно используется при изучении подповерхностных сред. Радарограмма отражает все изменения сигналов, проходящих сквозь почвенно-грунтовую толщу до определенной глубины, зависящей от мощности антенны и частоты сигнала.

Почвенные горизонты различающиеся по плотности, влажности, гранулометрическому составу, содержанию органического вещества имеют разную отражательную способность, что и фиксирует георадар. Используя программное обеспечение по расшифровке радарограмм, на них выделяются разнородные по генезису слои пород, что позволяет оценивать структурную организацию почвенного профиля.

Полевое зондирование старопашотной почвы под 50-летним сосняком проведено георадаром «ОКО-2», использованы антенны 400 МГц, 500 МГц, 700 МГц, 1200 МГц. На радарограммах выделяются слои на глубине 20 мм, 50 мм, и 200 мм, 300 мм, 500 мм соответствующие горизонтам О1 (слаборазложившаяся подстилка из опада сосны), А0 (грубогумусовый горизонт), граница насыщенного корнями слоя, Р (агрогумусовый), ВТ (текстурированный).



Рис.8. Георадар «ОКО-2» - излучатель и приемник низкочастотных сигналов (антенна), которые преобразуются и выводятся на компьютер в виде радарограммы.

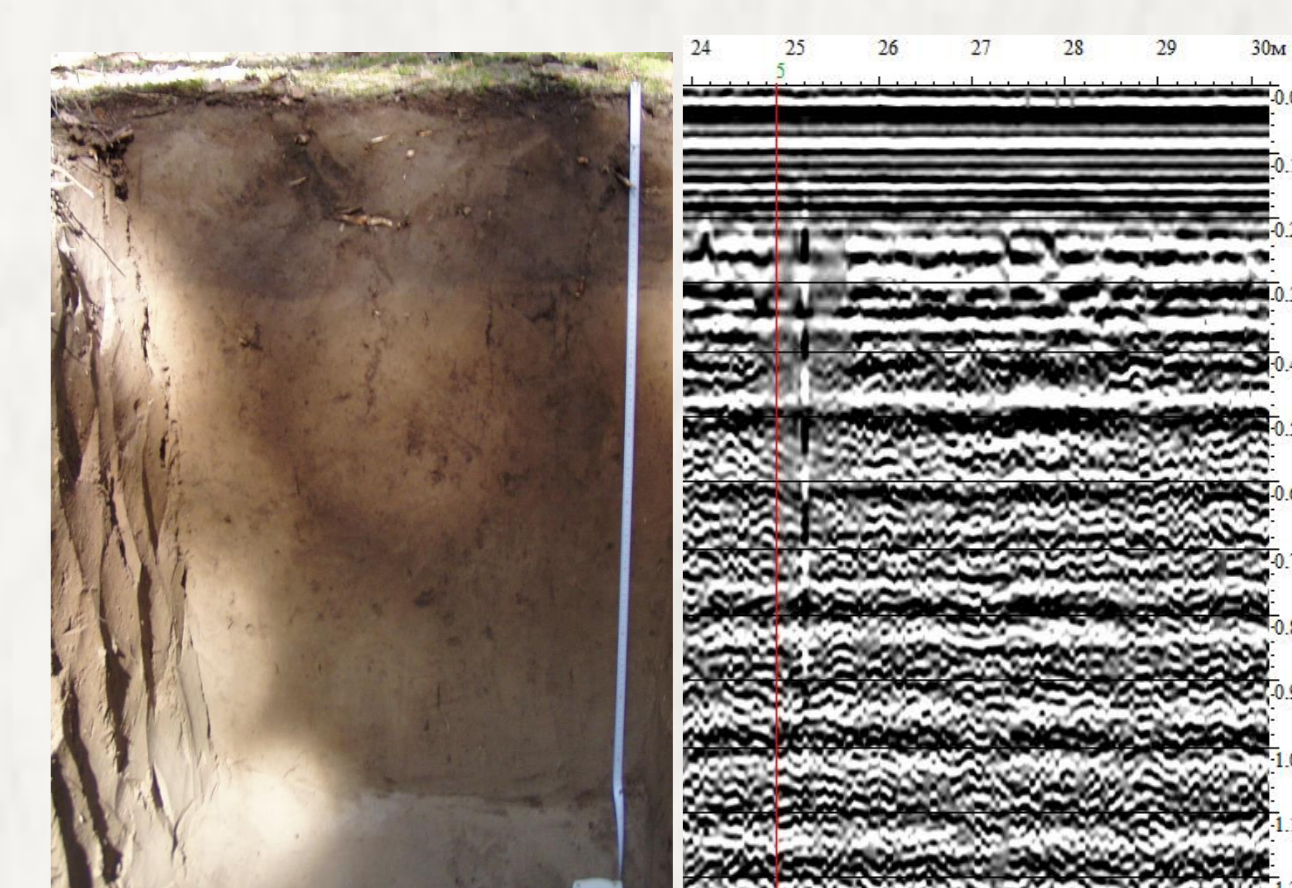


Рис.9. Профиль агросерой почвы в сосняке мертвопокровном и фрагмент радарограммы, полученной с использованием антенны 1200МГц.

Заключение

1. Вариативность дешифровочных спектральных признаков участков старопашотных почв на спутниковых снимках определяется сроком лесовосстановления и сукцессионными стадиями. Классификационный критерий на основе вегетационного индекса теряется на стадии средневозрастных (более 20 лет) насаждений. Процесс лесовосстановления сопровождается ростом относительного отклонения спектрального признака анализируемого полигона от фоновых значений (начальных стадий постагрогенных участков) со значительным снижением амплитуды сезонных колебаний.
2. На уровне структурной организации почв восстановление генетических горизонтов наблюдается через 10-15 лет после начала лесовосстановления. В профиле на границах почвенных горизонтов градиент радиометрической температуры ($\Delta T(h)/\Delta h$) меняется скачкообразно. Это связано с изменением теплофизических свойств почв различных генетических горизонтов, в частности, с изменением плотности сложения, влажности и содержания органического вещества. Точки перегиба на графиках градиента температуры вдоль почвенного профиля соответствуют границам горизонтов, а наибольший уровень изменения градиента соответствует пограничному слою перехода между гумусовым (0,5 - 0,8 °С/см) и минеральным горизонтами (0,1 - 0,3 °С/см).
3. Для бесконтактного инструментального анализа характеристик почв и структурной организации профиля перспективно привлечение систем высокочастотного зондирования (1200МГц) и специализированных комплексов регистрации отраженного сигнала систем глобального позиционирования (ГЛОНАСС и GPS). Их практическое применение требует создания калибровочного банка данных наземных обследований широкого спектра типов почв в разных состояниях, который по итогам проведенных исследований формируется для основных типов южной тайги и лесостепи.