

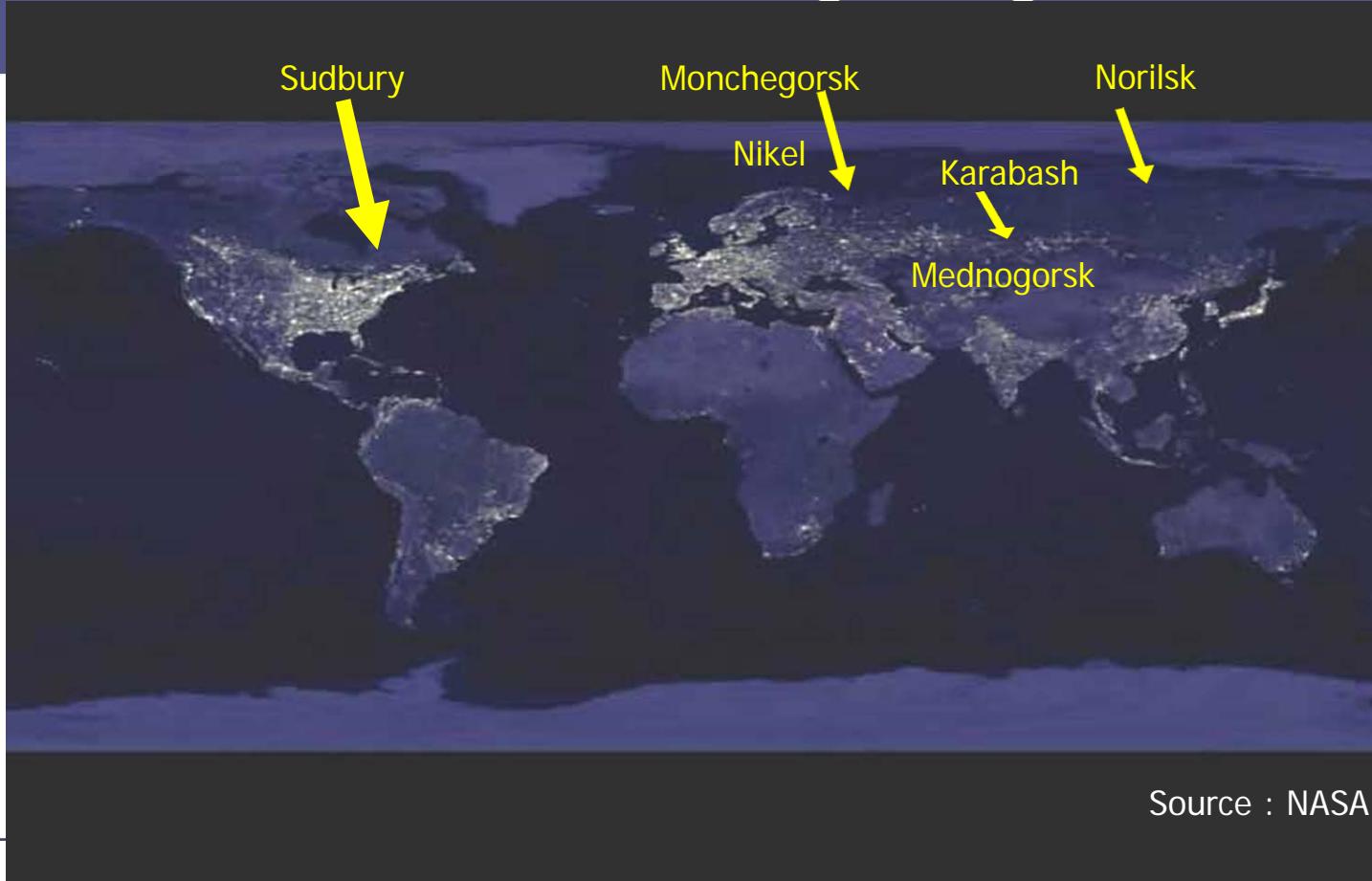
Reclamation of Smelter Impacted Landscapes in Northern Regions

- A Comparison of Canadian and Russian Experiences -

Graeme Spiers, Peter Beckett
Laurentian University, Sudbury, Ontario

Galina Koptsik and Sergey Koptsik
Lomonosov Moscow State University

Northern Mining Regions





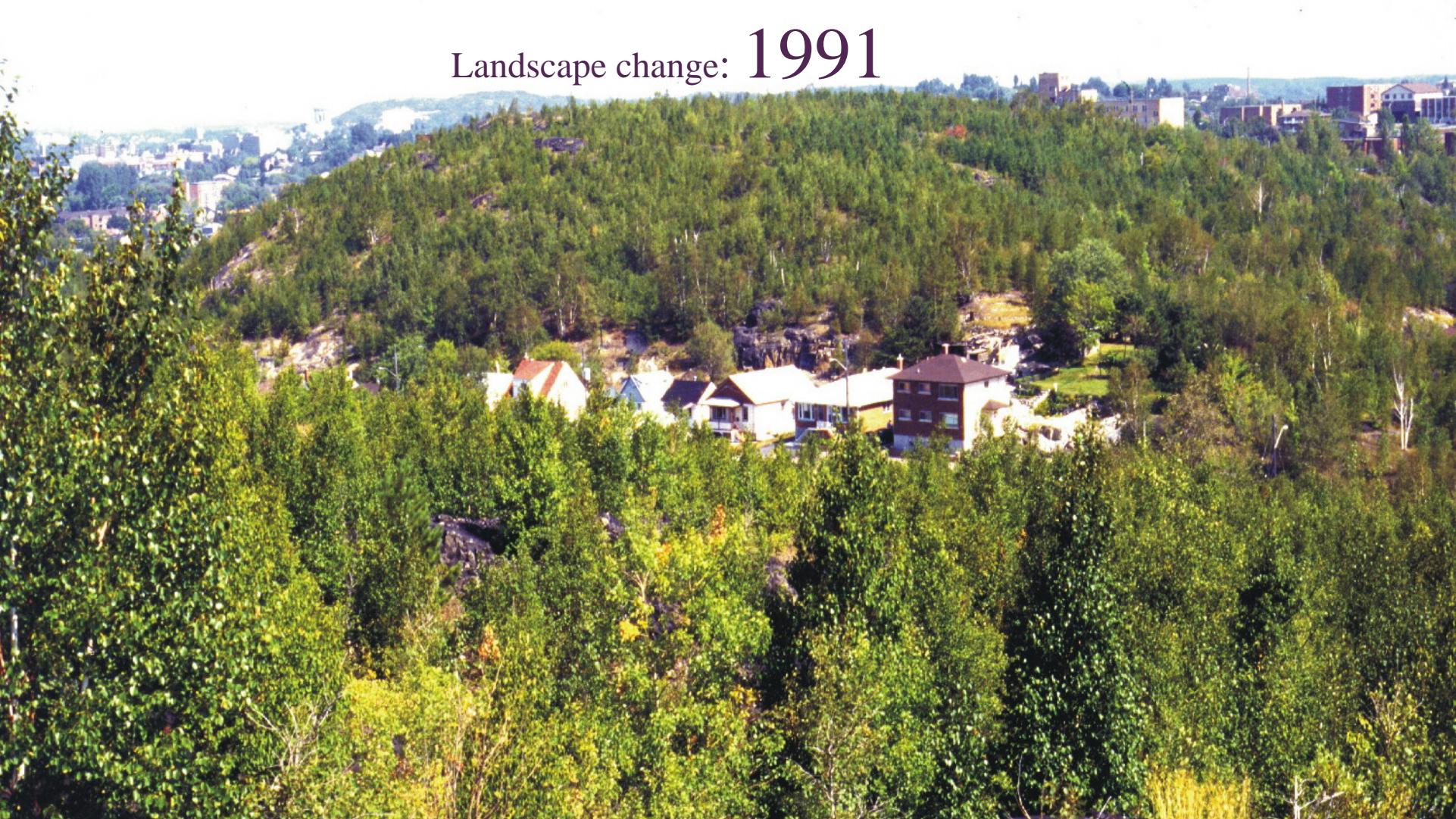
Landscape change: 1981



Landscape change: 1987



Landscape change: 1991



- Landscape change: 1994



Landscape change: 2004



Landscape change: 2011



Landscape change: 2016



- Landscape change: 2017



Sustainability - Community, Industry, Academe and Government working together since 1973



Advisory Committee

Industry



SUDBURY
INTEGRATED NICKEL
OPERATIONS
A GLENCORE COMPANY

Government



Ministry of the Environment



Land Reclamation



School Regreening



Academia



Collège Boréal

Citizens

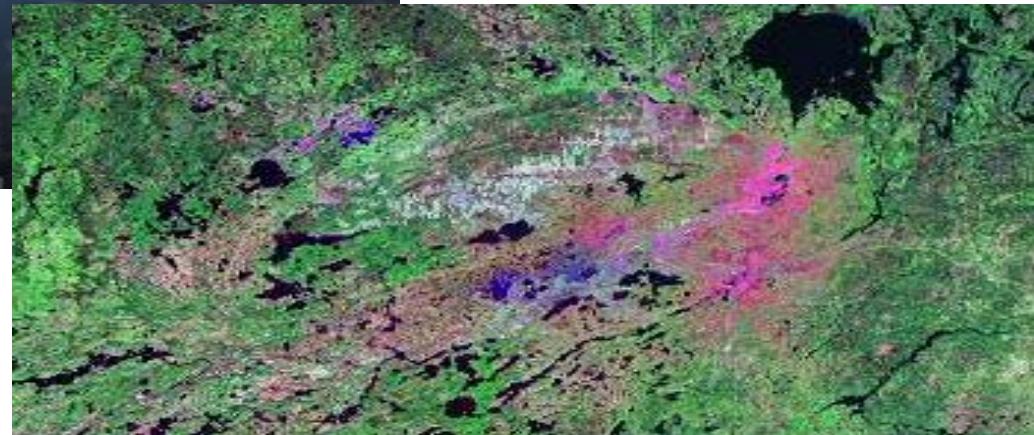


VETAC Original Goals: Ecosystem Redevelopment

- To create *an ecosystem*
*(i.e. not the original mixed hardwood forest)**
- Creation of wildlife habitat.
- To reduce soil erosion, soil dust movement and stabilize the soil substrate
- For aesthetics, recreation and community improvement.
- Economic improvement of City
- Job creation (>4000 employed since 1978)

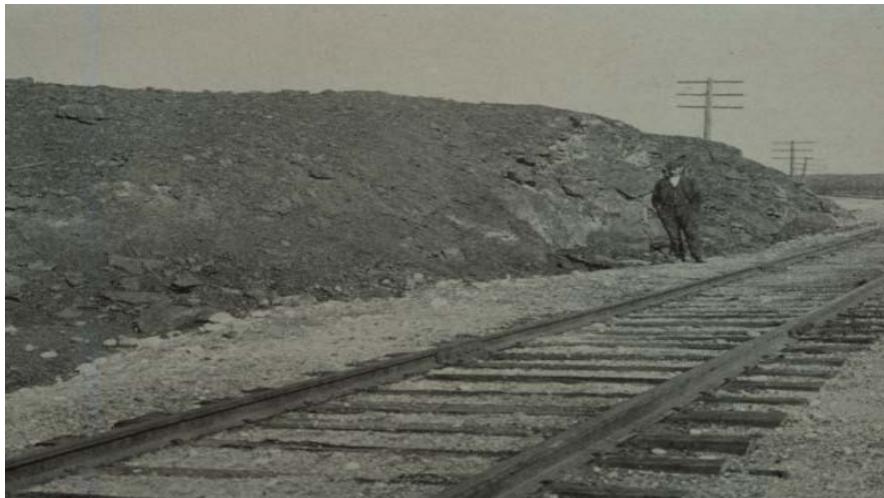
* *Today more emphasis on restoring the complete forest*

A Brief History of Sudbury



The Sudbury Igneous Structure was formed by a meteorite impact 1.8 Billion years ago.

The Sudbury Heritage – late 1800's



Discovery of Nickel

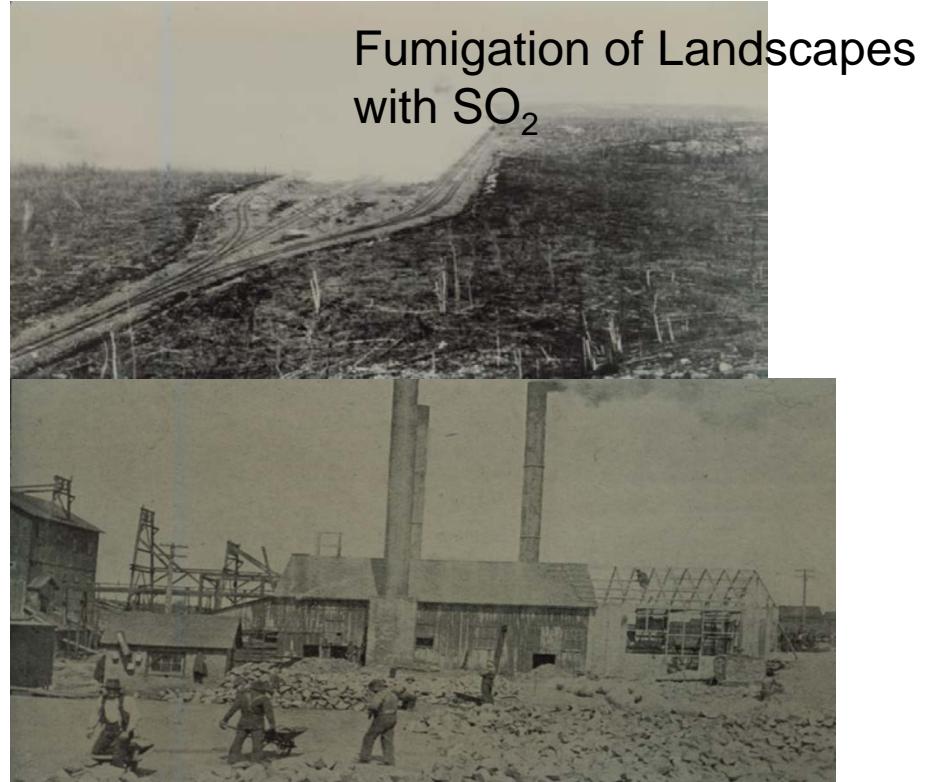
Development of Mining

Sudbury Heritage – 1900 to 1930



Roasting of Nickel Ore

Development of Early Smelters



Fumigation of Landscapes
with SO_2

The Sudbury Heritage – 1940 to 1970s



Development of three centralized smelters with minimal emission controls

Smelter Impacts - 1940's to 1970's

Windblown dusts
on tailings impoundments



Eroded, acidified and metal contaminated landscapes throughout region



Smelter Impacts on Landscapes: Sparse cover of metal tolerant grasses and shrubs

*Deschampsia
caespitosa*



*Agrostis
gigantica*



*Agrostis
scabera*



Betula spp



Also:

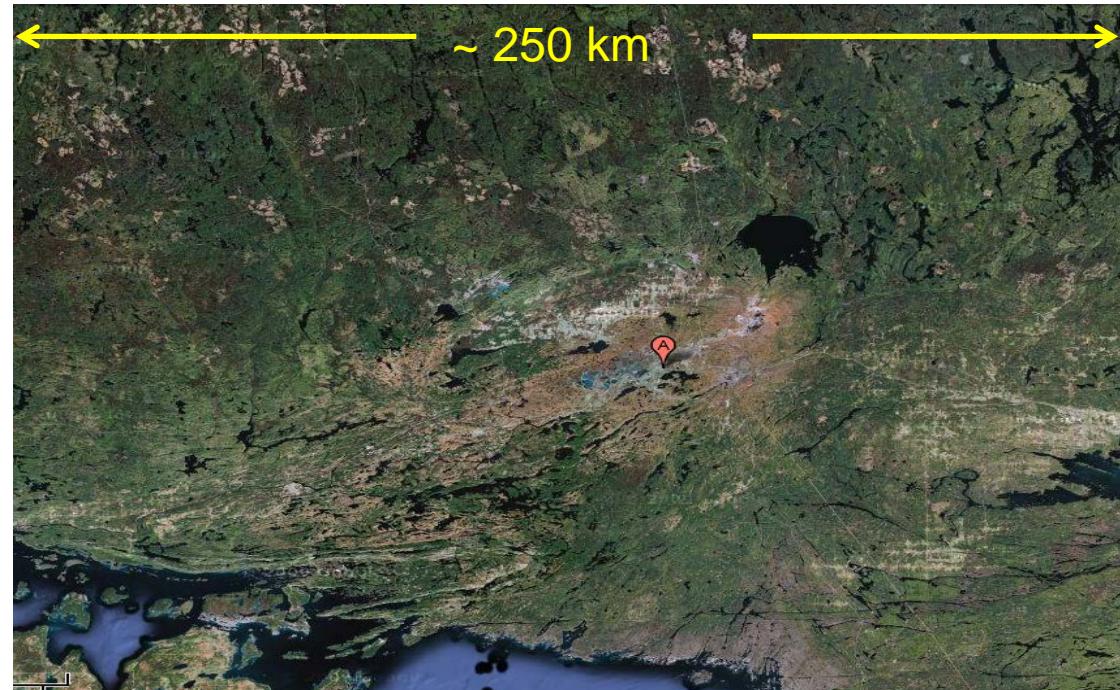
Salix spp

Lichen spp

Sudbury Smelting Impact Zone

An Industrial
Impact Zone
of 81,000 ha.

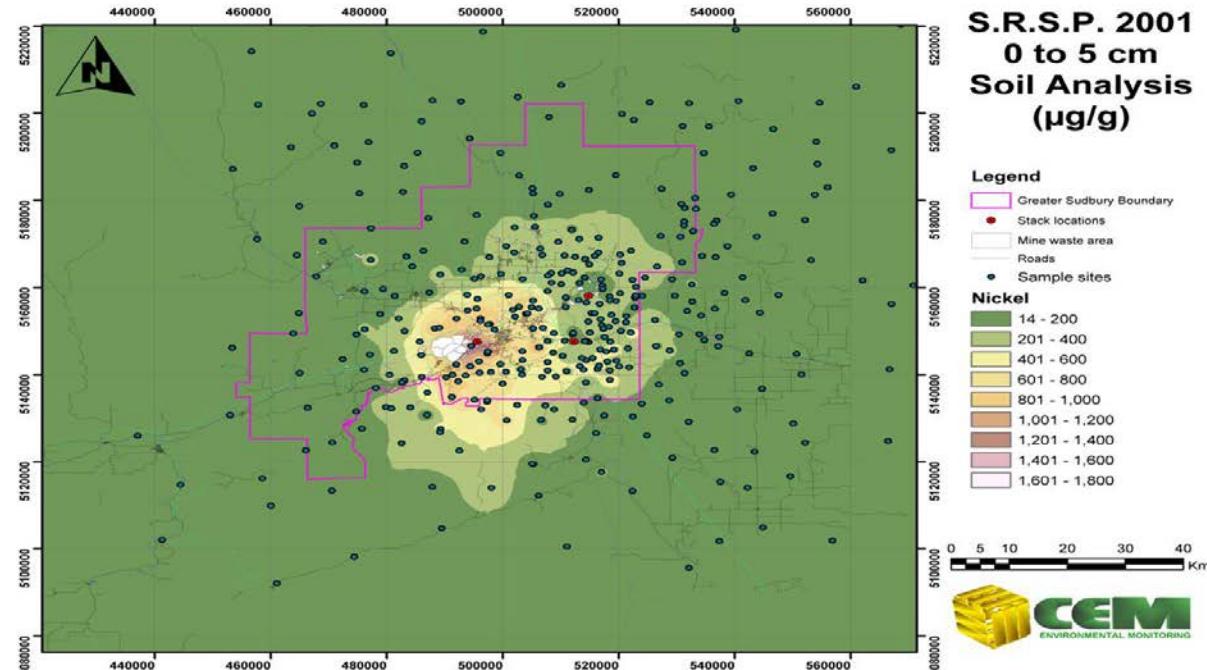
Metal laden
acidified soils
and lakes



Regional Impact Zones: Nickel Distribution in Surface Soils

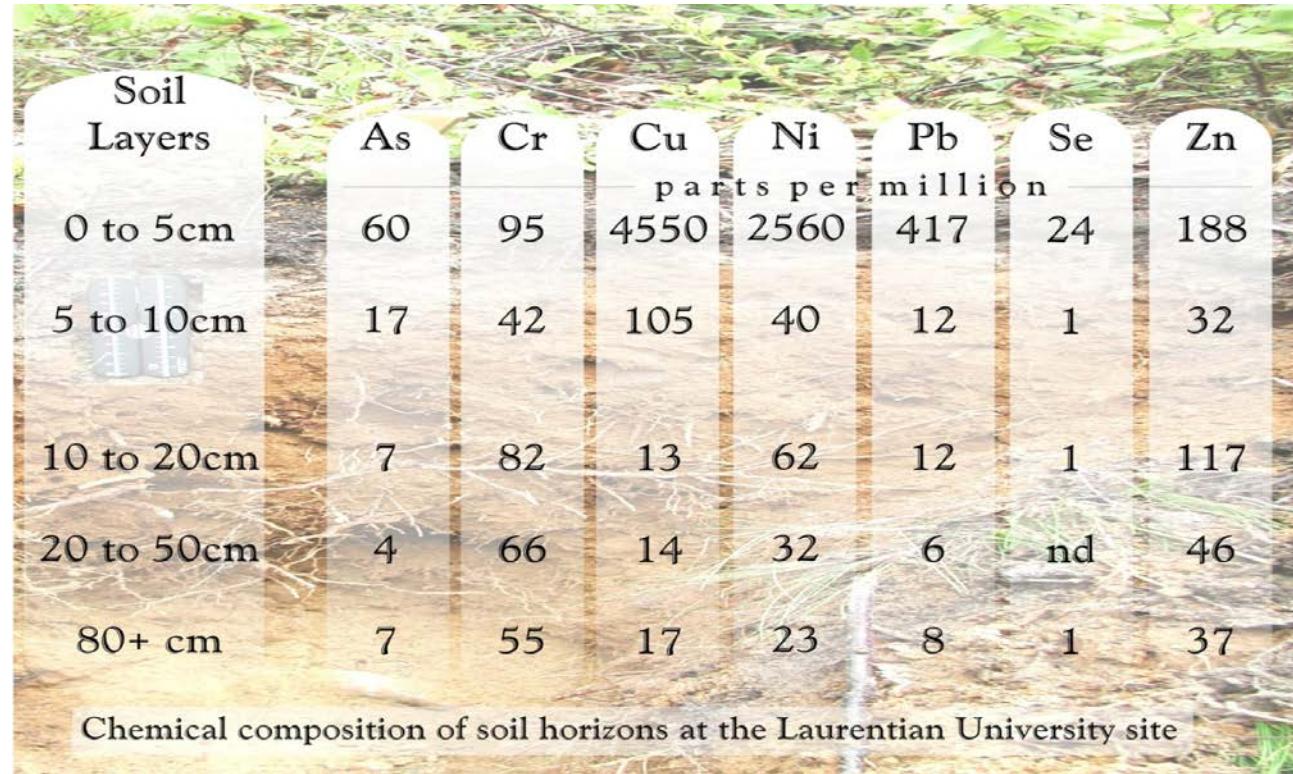
Nickel
Distribution
In Soils in
Sudbury
Region

Note:
other elements
follow similar
pattern. No obvious pattern in soil parent materials

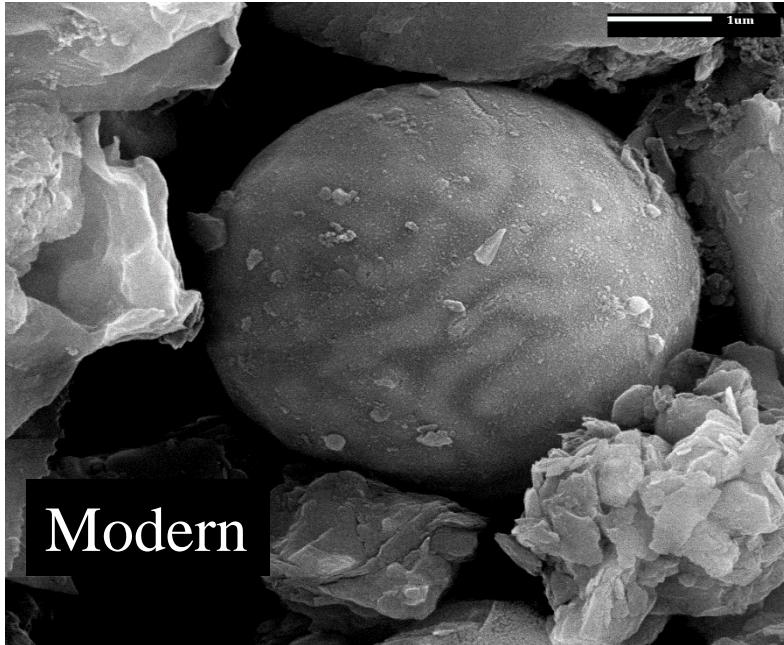


Regional Impact Zones: Nickel Distribution in Soil Profiles

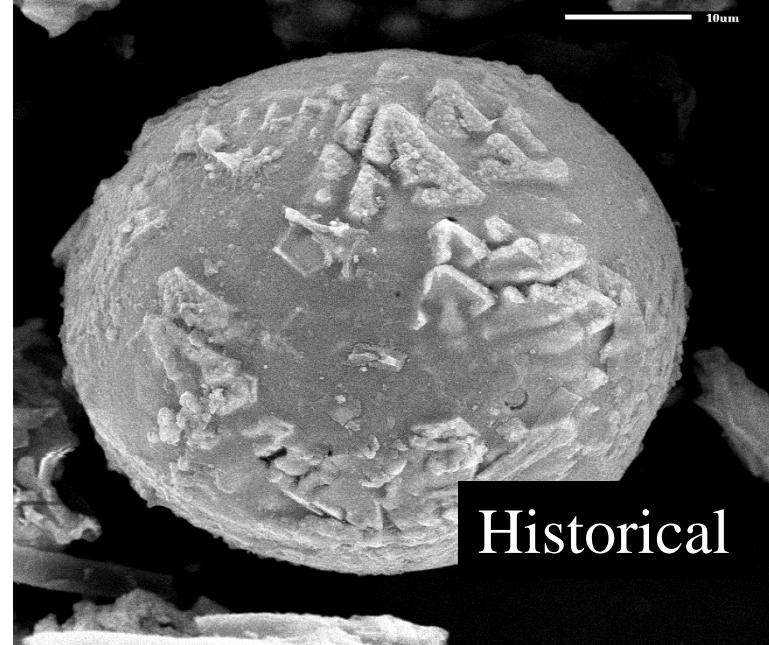
pH < 3.5 →



Source of Metal Enrichment: Weathering of Fugitive Aerosol Particles



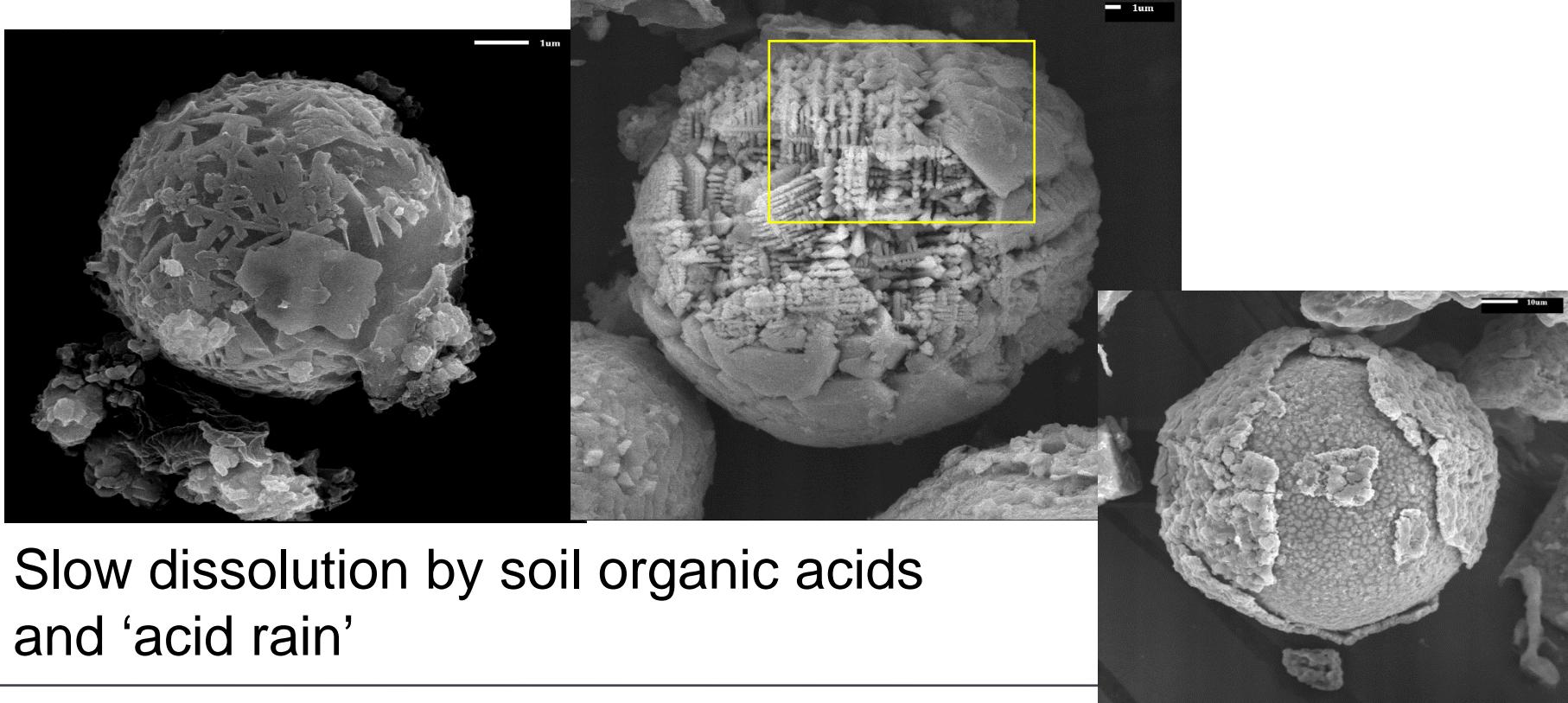
Modern



Historical

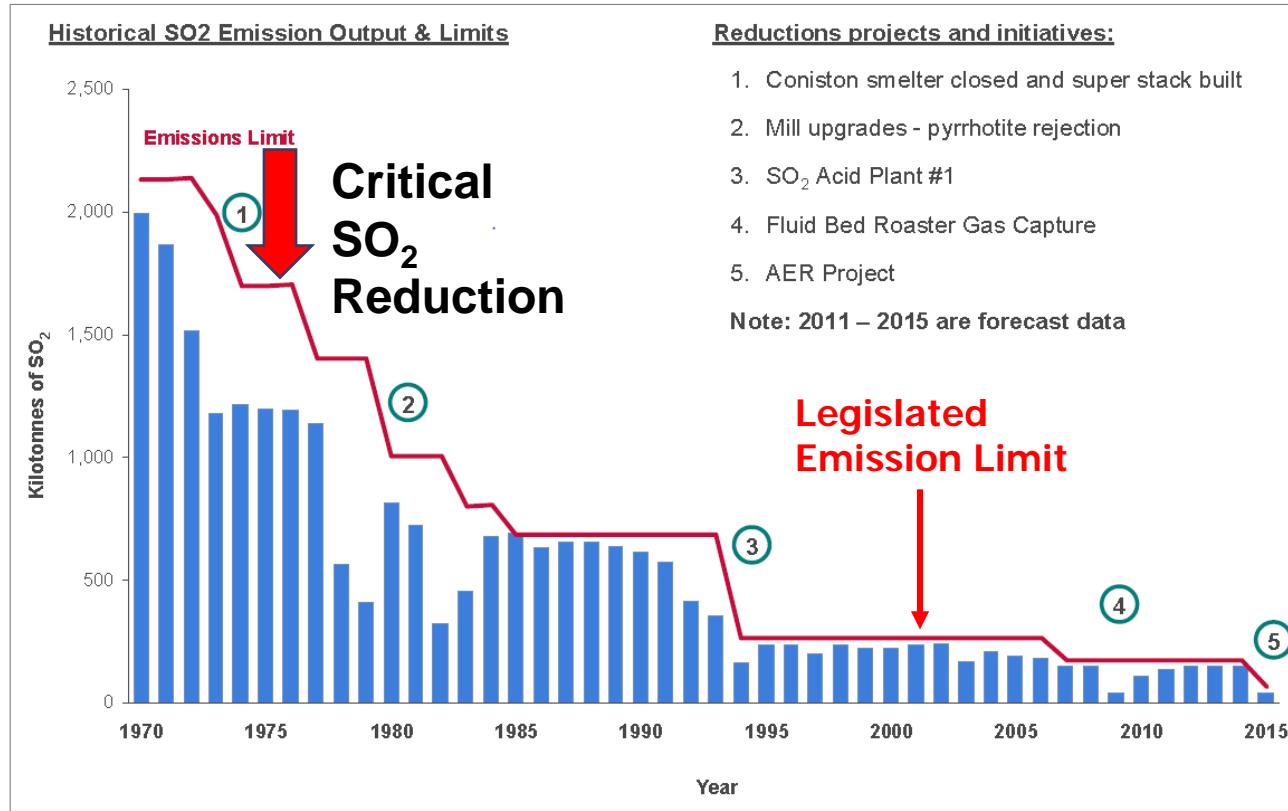
Similar Iron Silicate Composition

Source of Metal Enrichment: Fugitive Aerosol Particles from Smelters

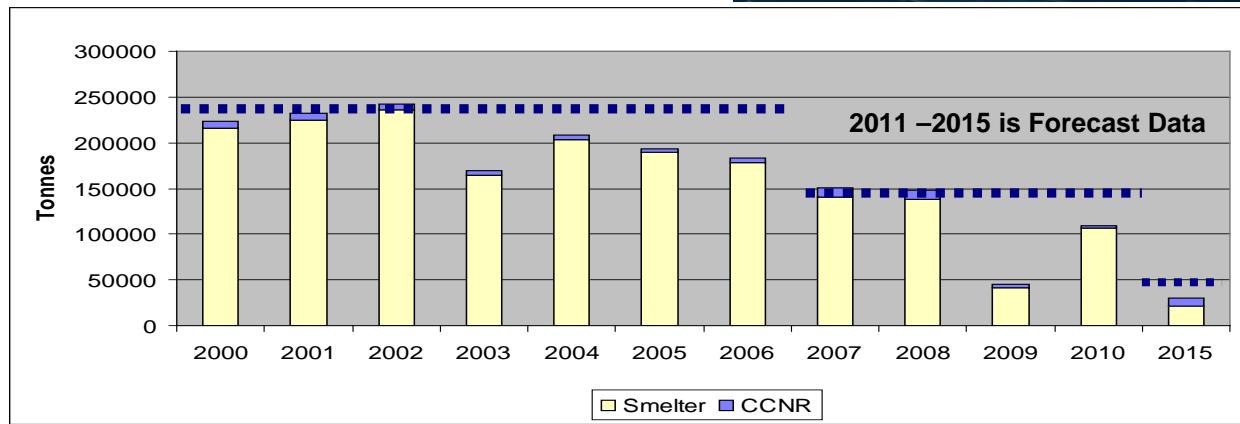


The Sudbury Industrial Solution: SO₂ emissions focus in 1970's - 2017: Vale

Decreases in SO₂ emissions allow vegetation recovery and growth



Vale Sudbury SO₂ Emission Reductions



SO₂ emissions have been consistently reduced over the years.

- Mill upgrades
- Bulk Flash Furnace and Copper Smelting
- FBR SO₂ Project

Limits

- 2015 : 60 kT

Clean AER Project : 45 kT

Impacts On Sudbury

Logging

Fire

Smelting

How have all the environmental factors and interactions contributed to the barren and highly disturbed birch barren lands ?



Synopsis of Ecological Effects

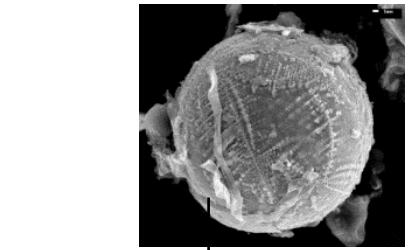
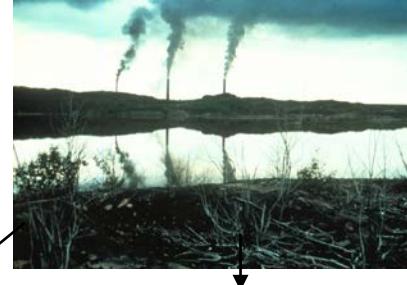
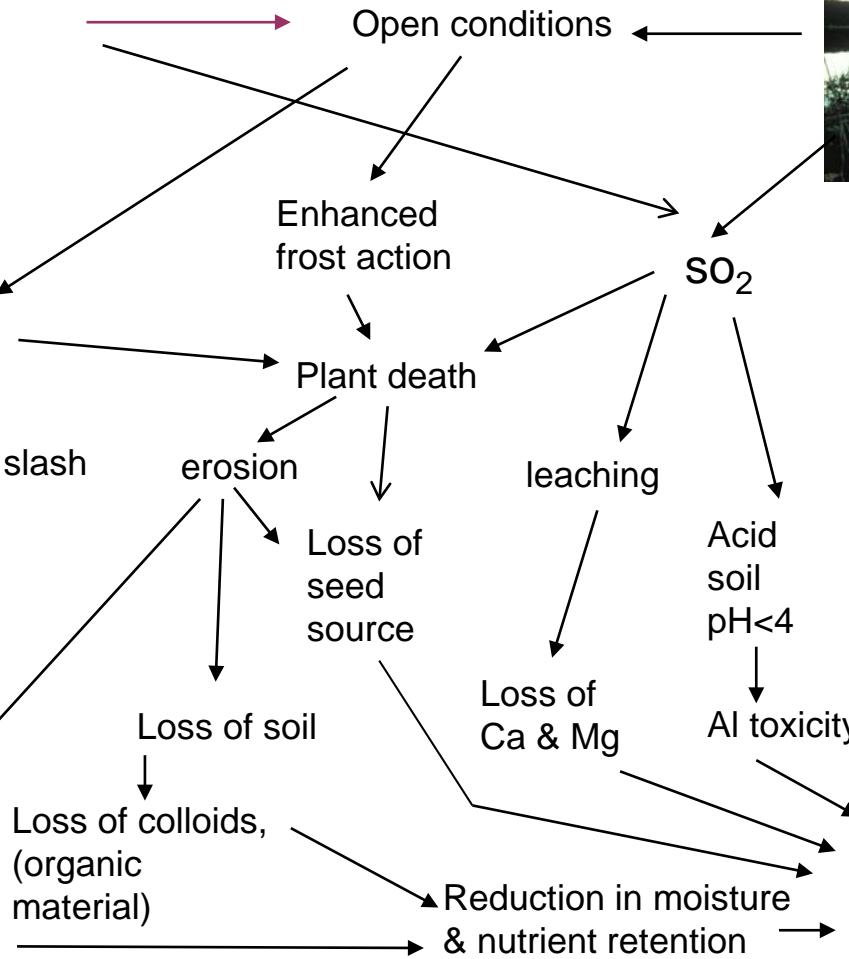


PROSPECTING



LOGGING

Loss of P & N



Landscape Recovery Research



1975 – Move initial research from laboratory pots to field sites following SO₂ emission reductions

Landscape Recovery Research



1976 – Initial larger agricultural-style research plots on industrial lands following reduction in SO₂ emissions



Experiments showed:

1. Addition of dolostone could reduce metal toxicity (pH alteration, metabolic Ca role, Ca:Mg imbalance)
2. P more limiting than N
3. Trees would not initially survive on barrens without grass cover – required microsite ‘improvement’

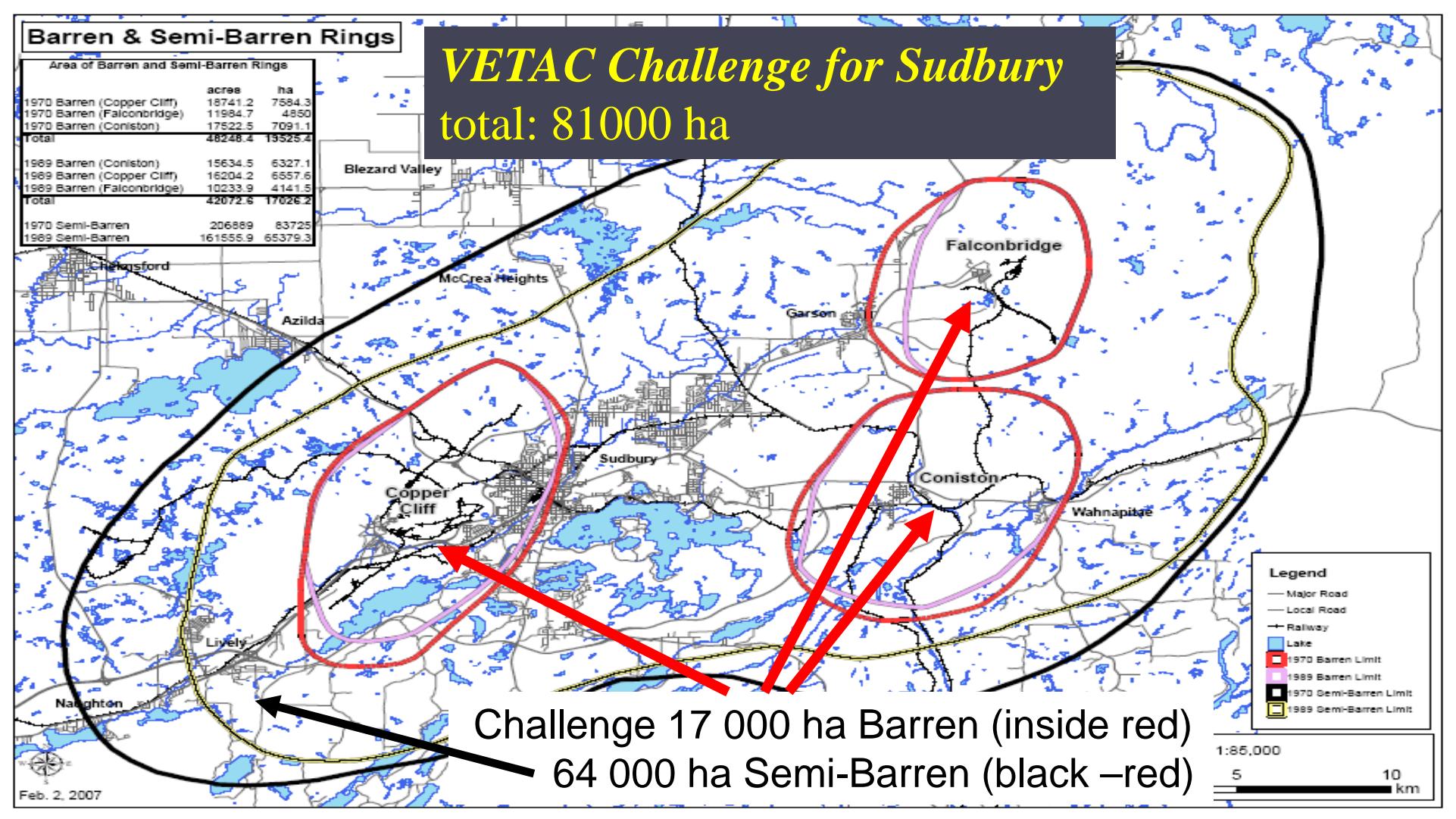
Barren & Semi-Barren Rings

Area of Barren and Semi-Barren Rings

	acres	ha
1970 Barren (Copper Cliff)	18741.2	7584.3
1970 Barren (Falconbridge)	11984.7	4850
1970 Barren (Coniston)	17522.5	7091.1
Total	48248.4	19525.4
1989 Barren (Coniston)	15634.5	6327.1
1989 Barren (Copper Cliff)	16204.2	6557.6
1989 Barren (Falconbridge)	10233.9	4141.5
Total	42072.6	17026.2
1970 Semi-Barren	206889	83725
1989 Semi-Barren	161555.9	65379.3

VETAC Challenge for Sudbury

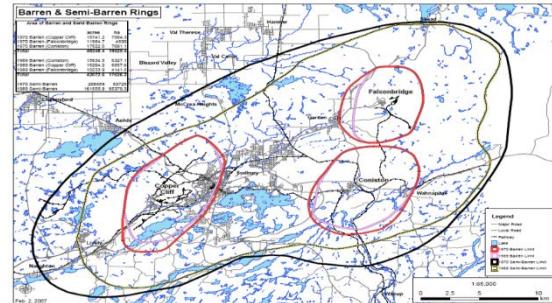
total: 81000 ha



VETAC Sudbury Protocol Strategy: 1978-2009

Barren zone

- 1: Limestone, fertilizer,
grass-legume seed mixture
- 2: Tree and shrub planting



Semi-barren zone

- 1: Tree and shrub planting only



The ‘Original’ Sudbury Regreening Recipe

Amount of lime added: 10 t / ha

Amount of fertilizer added: 400 kg / ha

Seed mixture: 40 kg / ha

Grasses (75%):

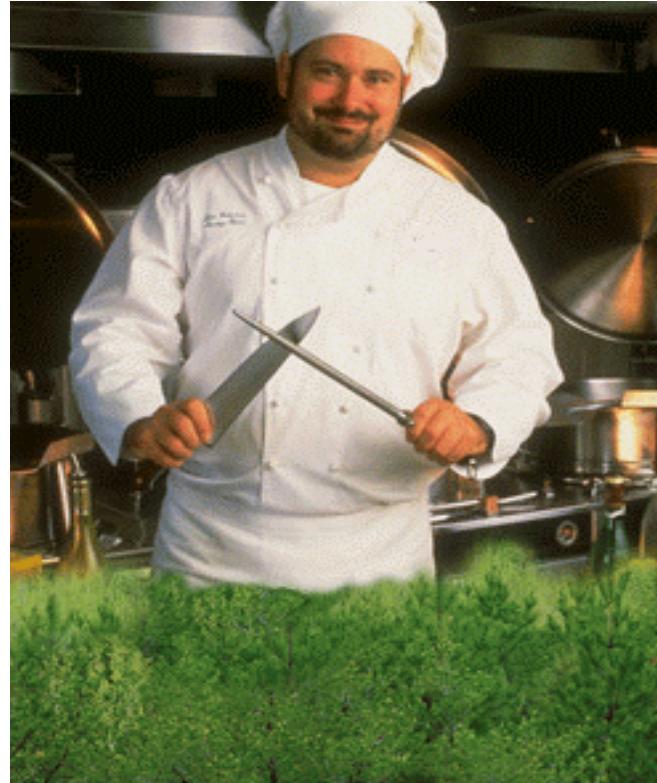
1. Red Top (*Agrostis gigantea*)
2. Red Fescue (*Festuca rubra*)
3. Timothy (*Phleum pratense*)
4. Canada Blue Grass (*Poa compressa*)
5. Kentucky Bluegrass (*Poa pratensis*)

Legumes (25%)

1. Bird's foot Trefoil (*Lotus corniculatus*)
2. Alsike Clover (*Trifolium hybridum*)

Trees Planted (major species): [+10 other]

1. Jack Pine (*Pinus banksiana*)
2. Red Pine (*Pinus resinosa*)
3. White Pine (*Pinus strobus*)
4. White Spruce (*Picea glauca*)
5. Black Spruce (*Picea mariana*)
6. White Cedar (*Thuja occidentalis*)



The Process – Limestone application

Dolostone (dolomite)
(Ca:Mg 55:45)



Rate:
10 tonnes/ha

Target:
Raise pH to > 4.85

The Process - Fertilizer Application



Rate:

- 400 kg /ha
- N:P:K (6:20:20)

The Process - Seed Application



- 40 kg/ ha
- grass-legume mix

The Process - Tree and Shrub Planting



Regreening crew

Community volunteers
(schools, service clubs,
citizens etc)



The Sudbury Healing Process

Barren site



1 year post liming, grassing



8 year post treatment



25 year



Addition of Trees and shrubs



Comparison site outside Sudbury



Development of a Humus Form



Young (0cm)

Middle-Age (0.5cm)

Old (2cm)

Soil pH

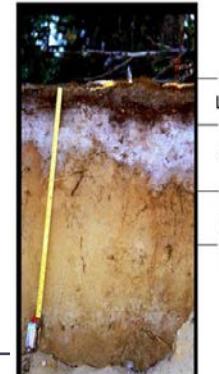
target > 5.0

young sites (<5 y) 5.4 – 6.3

middle (10-15 y) 5.2 – 5.8

old (>20 y) 5.0 – 5.8

Eluviated Eutric Brunisol



The Result – A Healthy Landscape



No significant increase of Cu, Ni, Cd, Co, As, Pb in plants

Land Reclamation Program Deficiency



25-30 years on – structure of woodland

Composition – non-native grasses, non-woodland herbs dominate

Woodland – understory herb and shrub species missing





1981

2008

Living Landscape

A Biodiversity Action Plan for Greater Sudbury

December 23, 2009

Programme Strategy from 2010



5 Year Plan

Regreening Program
2011-2015

December 21, 2010



New Grass Mix:

- 40% Fall Rye (*Secale cereal*)
- 30% Canada Wildrye (*Elymus canadensis*)
- 20% Slender Wheatgrass (*Elymus trachycaulus*)
- \pm 10% little bluestem (*Schizachyrium scoparium*)
- 10% Alsike Clover (*Trifolium hybridum*)
- Note: other local native grasses not commercially available

Harvesting and Planting Local Seed



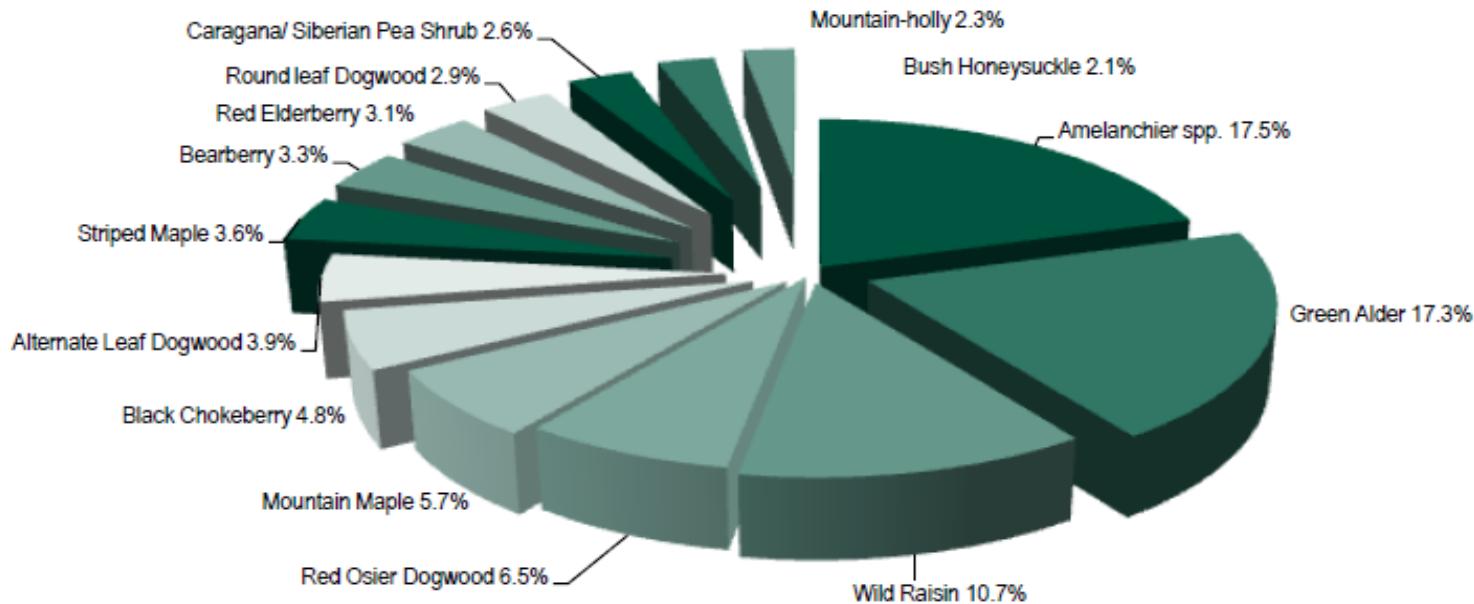
5 Year Plan

Regreening Program
2011-2015

December 21, 2010



Tree and Shrub Planting Enhancements



45 species and total of 282,120 since 2010

Increasing Biodiversity: Forest floor transplants enhance recovering sites

Collecting forest floor blocks



Increasing Biodiversity: Forest floor transplants to recovering sites

Layout at 'regreening' site



Layout at 'regreening' site



Regreening plots after 3 years are showing evidence of site colonization with introduced species and slow expansion across landscape

Increasing Biodiversity:

Barren exposed rocky habitats are abundant in Sudbury



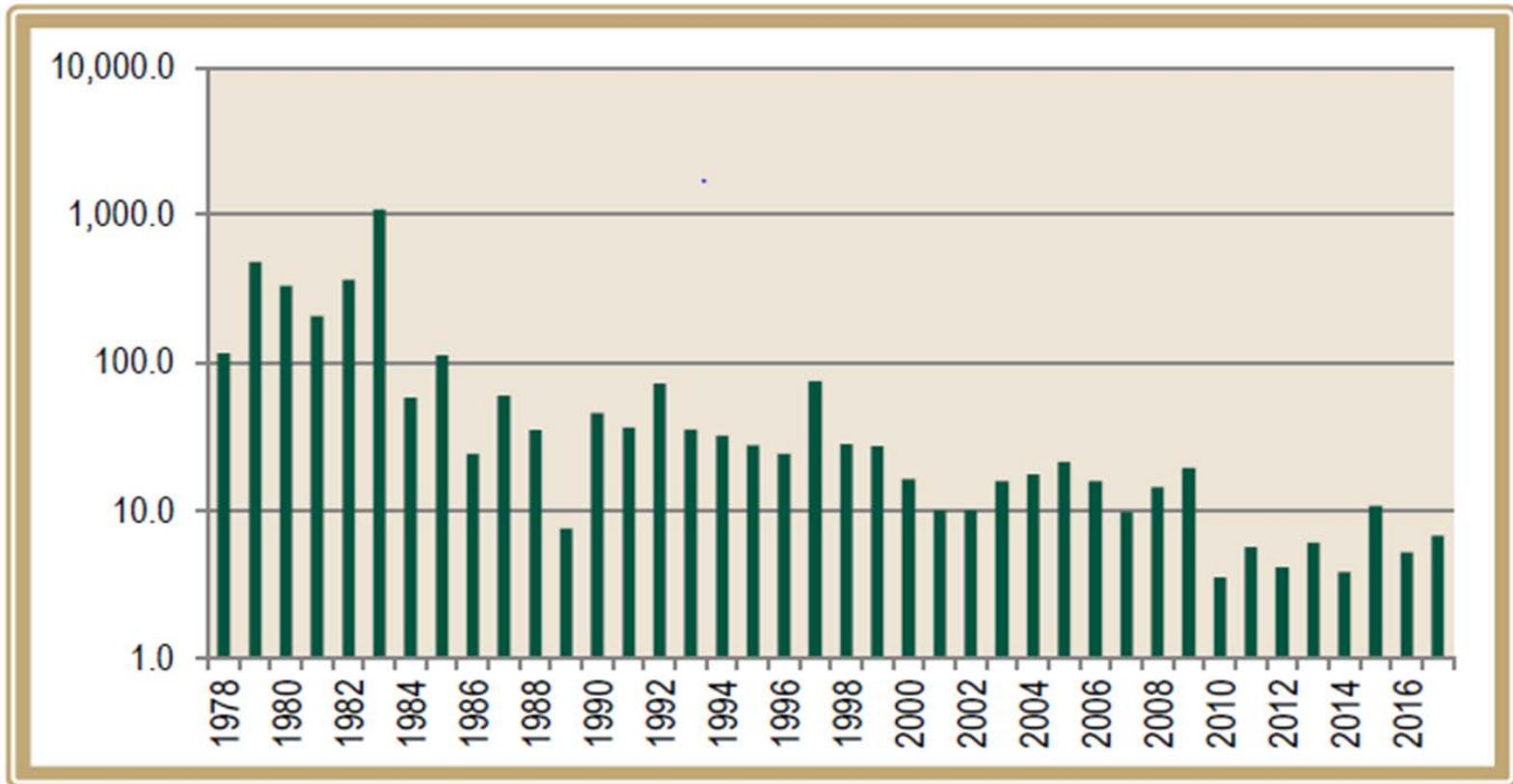
Increasing Biodiversity: Lichen Mat Transplants on Exposed Sites



Healthy Watersheds Lead to Healthy Lakes

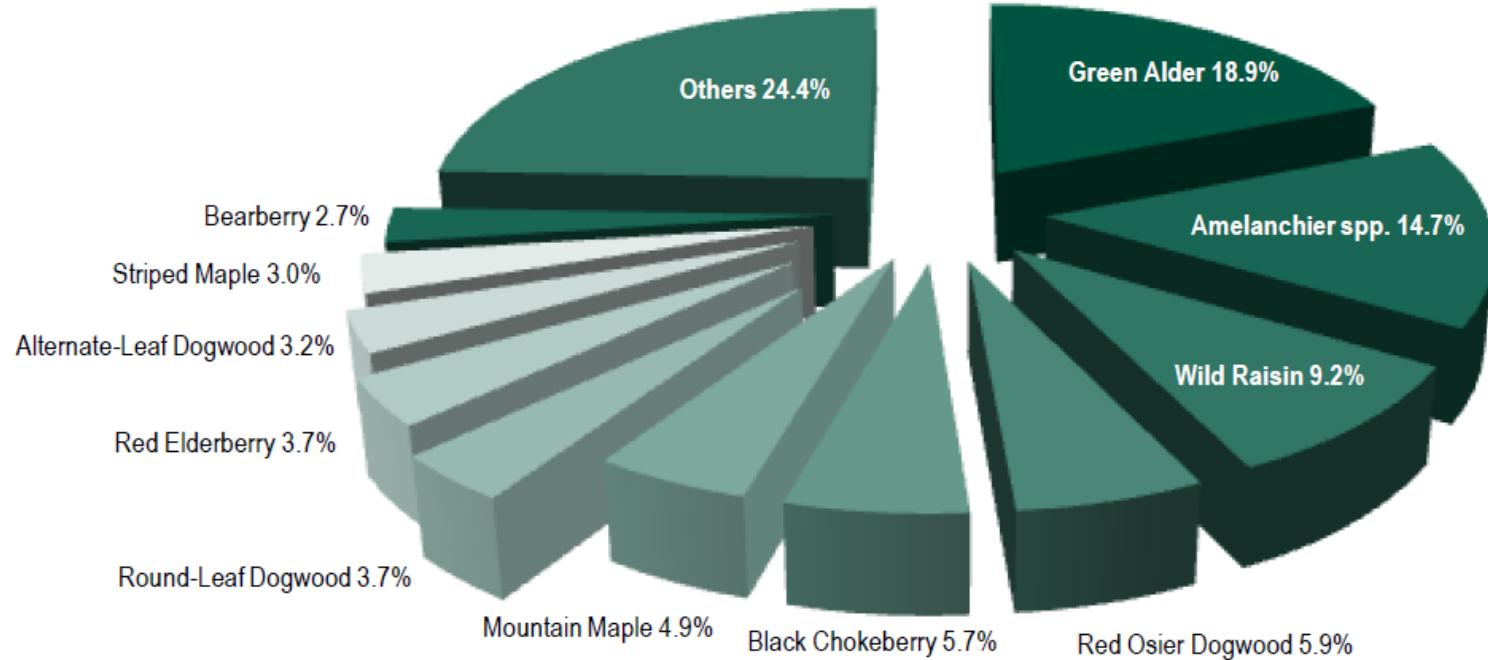


Number Trees Planted: 1979 to 2017

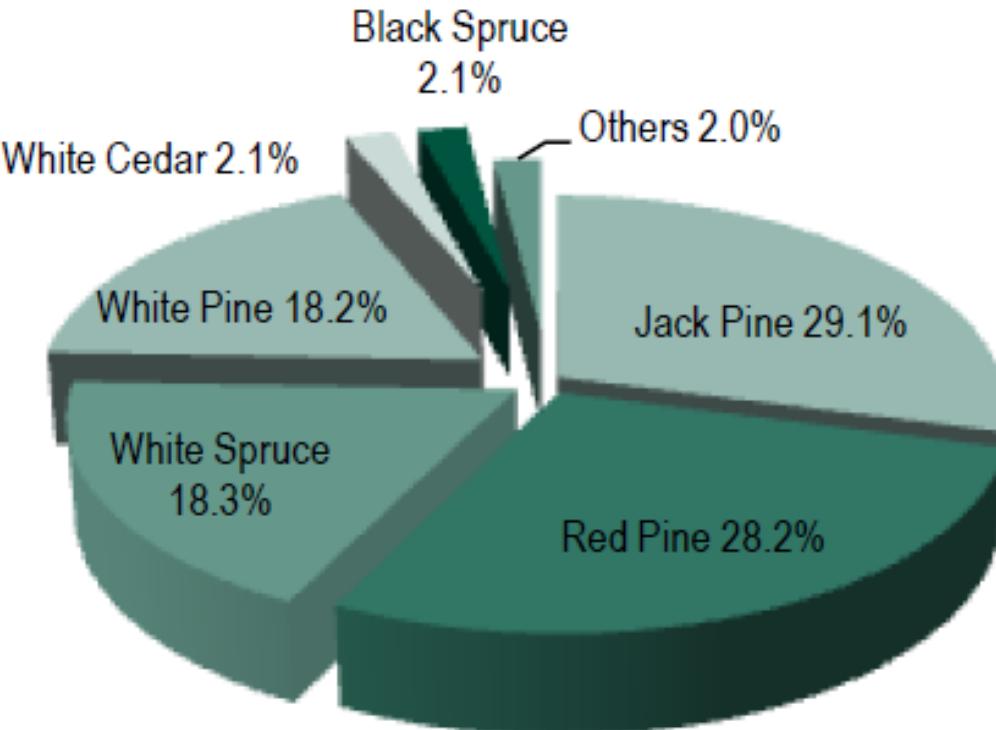


Shrubs and Understory Trees Planted 1979 to 2017

– 360,539

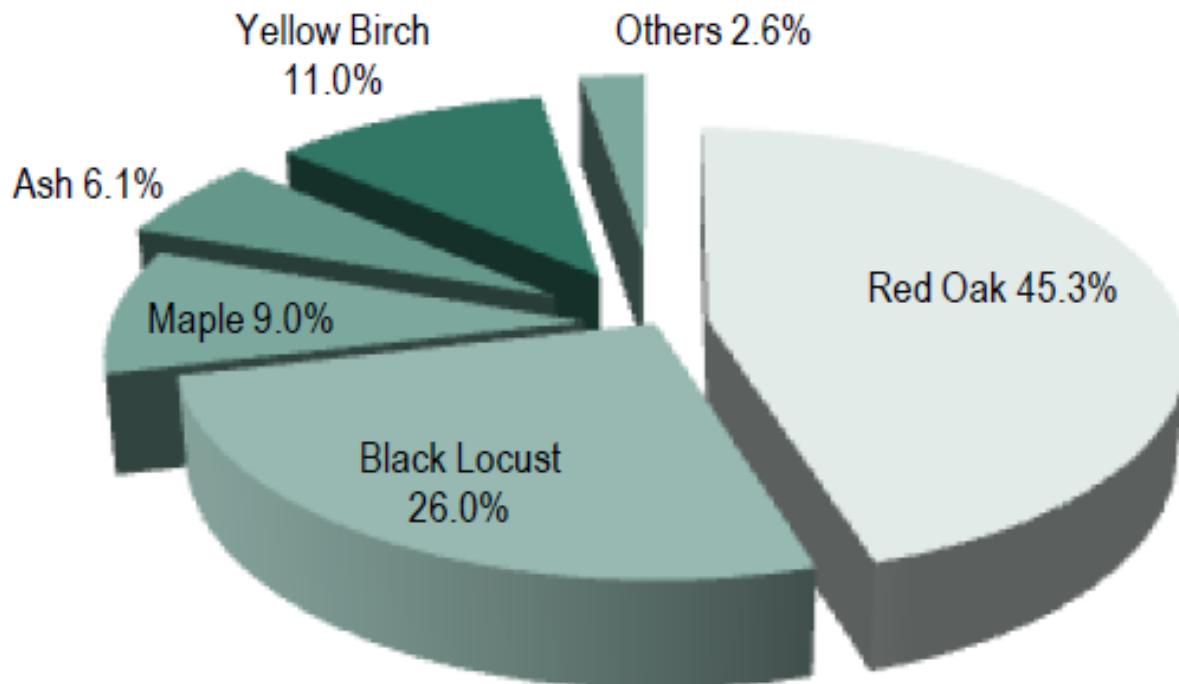


Coniferous Species Planted 1979 to 2017 – 9,250,490



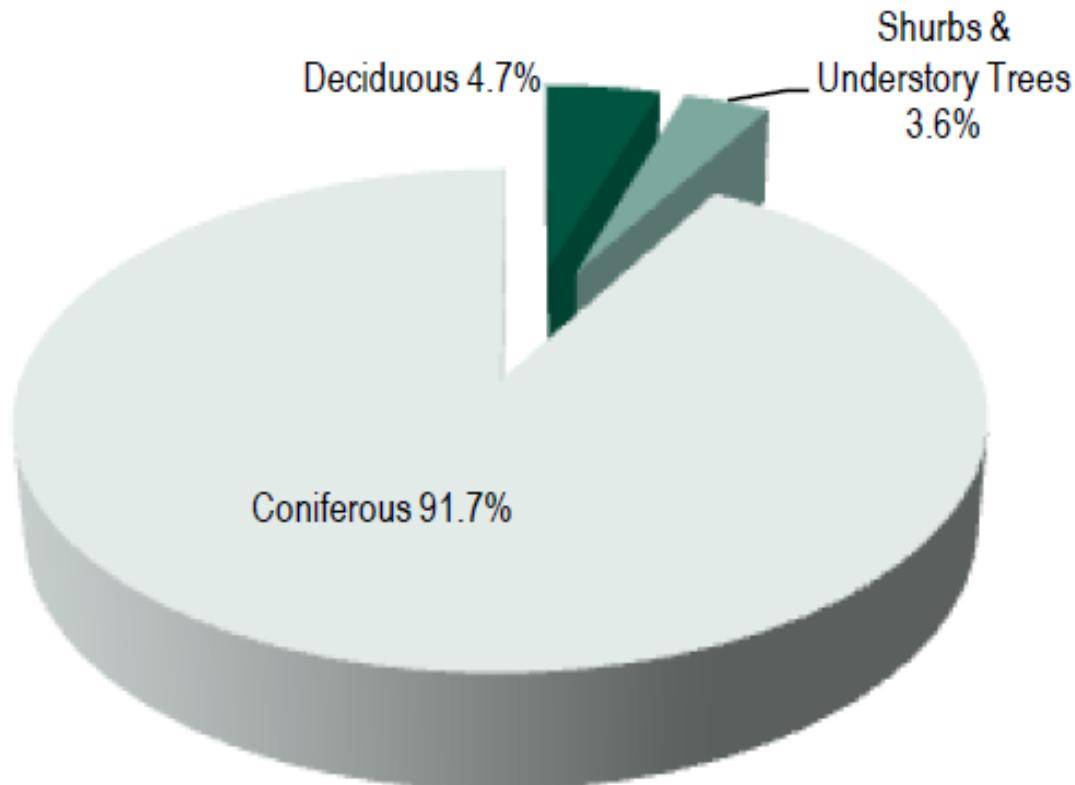
Others Include:
balsam fir 0.2%,
tamarack 1.3%,
Norway spruce 0.2%,
larch 0.2%, hemlock
0.1%, and Austrian
pine <0.0%.

Deciduous Species Planted 1979 to 2017 – 472, 680



Others Include:
Russian olive 1.1%,
bur oak 0.8%,
ironwood 0.3%,
American beech
0.1%, bitternut
hickory 0.1%, white
oak 0.1% and
basswood 0.1%.

Percent of Species Planted 1979 to 2017 – 10,083,710



Sudbury Regreening Program Summary

- Tree Seedlings Planted 9,723,172
- Shrub/Understory Tree Seedlings 360,539
- Area Limed 3,471 ha
- Area Fertilized 3,246 ha
- Area Seeded 3,173 ha
- Forest Floor Transplants 1.83 ha
- Program Cost \$31,837,747
- Temporary Employment Opportunities 4,746
- Awards – 14
- Number of Schoolyards Regreened 43
- Volunteer Tree Planters 11,662
- Trees Planted by Volunteers 375,046
- Trees for Residential Plantings 429,023

Sudbury Success Story To Date:

- 40+ years of ecosystem development on the acid – metal enriched Sudbury landscape.
- Conifer tree growth is similar to comparison sites outside Sudbury.
- Metal levels in vegetation are above background values but below guideline concentrations for concern.
- A ‘**new**’ ecosystem is developing



Key To Success of Sudbury Regreening Story

Rocky Hillsides in Sudbury



There are about 60 volunteers scattered on the slopes

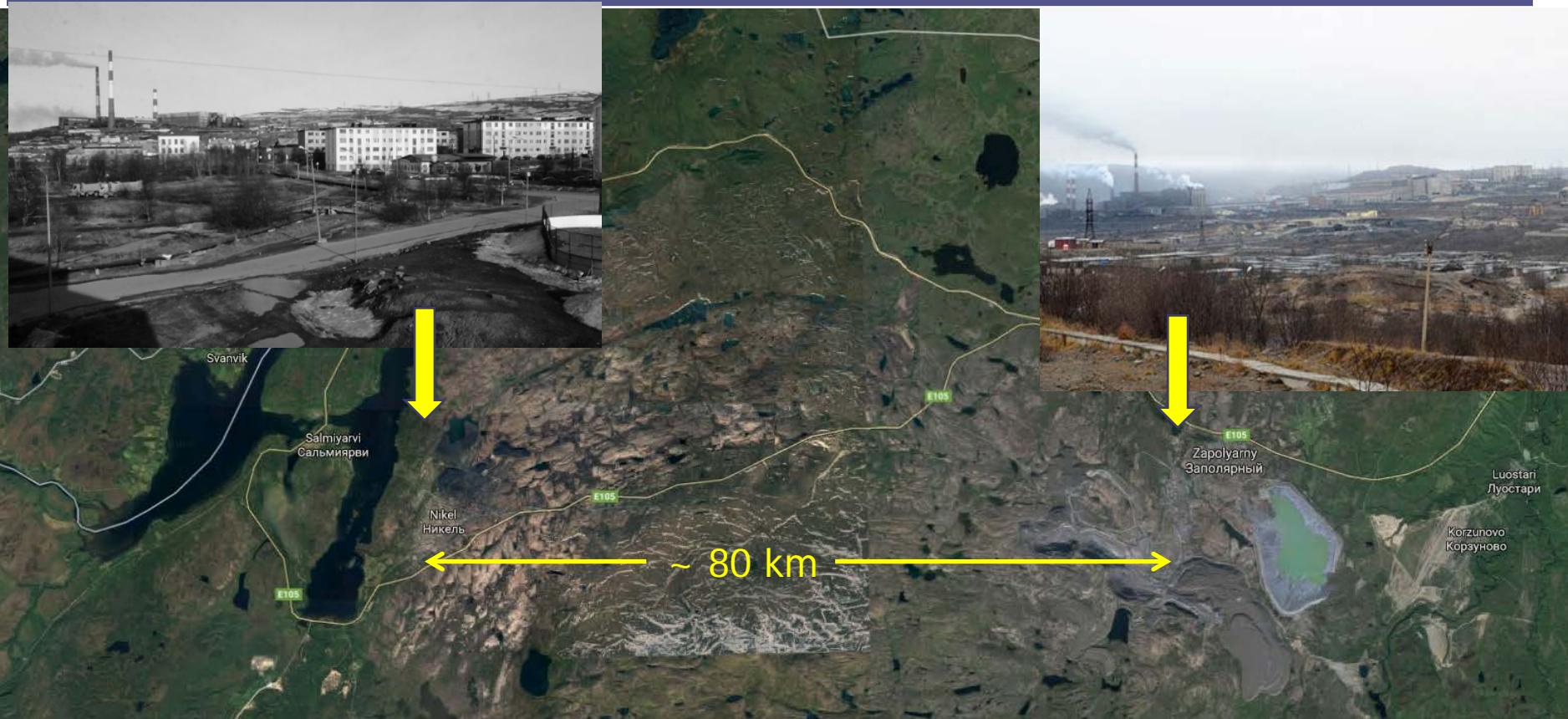
It is astounding what a dedicated and active group of volunteers can do

- Industry co-operation
- Municipal leadership
- Activist professors
- Lack of finger-pointing
- Early visibility of success
- Years of Academic, Inco and Falconbridge knowledge before VETAC started in 1972

Evolution of the Sudbury Regreening Protocol

The Sudbury Protocol Goes Russian

Regreening Nickel, Mongekorsk, Zapolyarnyi



International Nickel Conference Murmansk

2001



2001 Smelterscapes



Sudbury 2001



Monchegorsk 2001

Current Smelter Landscapes

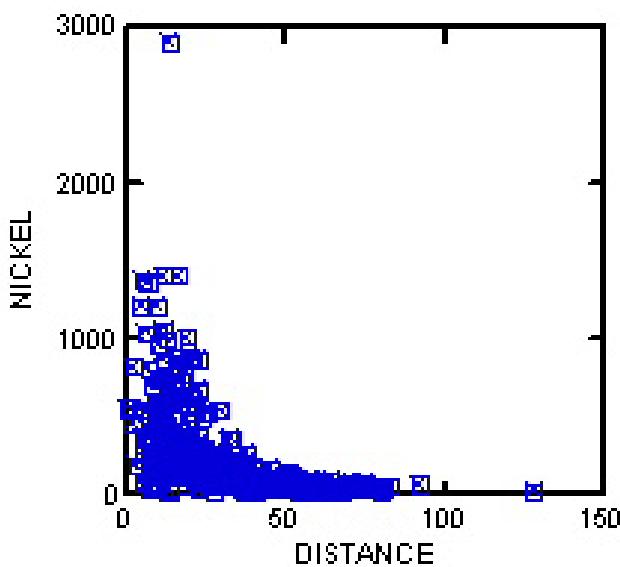


Sudbury 2001

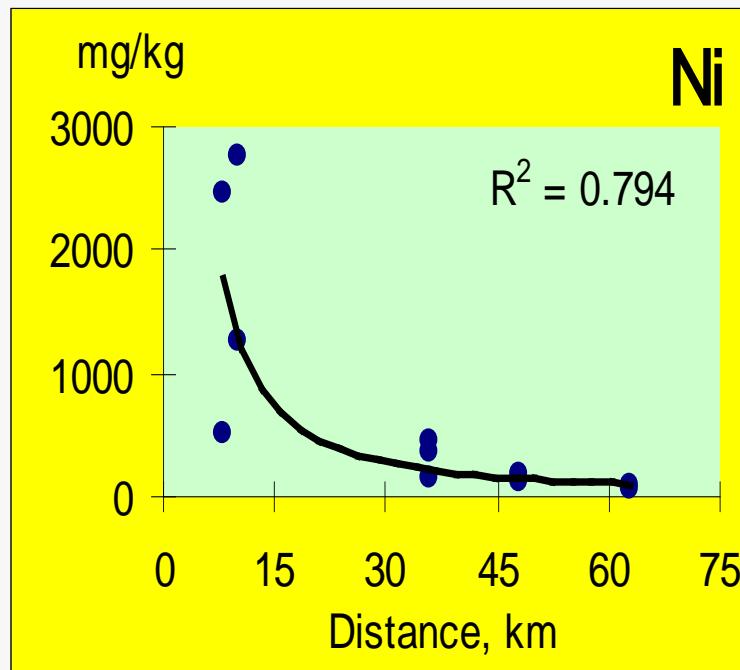


Monchegorsk 2001

Regional Impact Zones - Nickel in Surface Soils



Sudbury - Spiers, 2004



Monchegorsk — Lukina, 2007

Landscape Recovery Research



Sudbury 1975

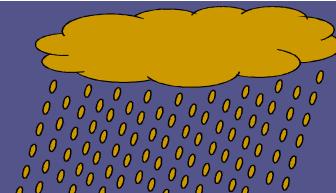


Monchegorsk 2000

Pencehnganikel Smelter Zone – Kola Peninsula



Pechenganikel Smelter Zone



SO₂, Ni, Cu



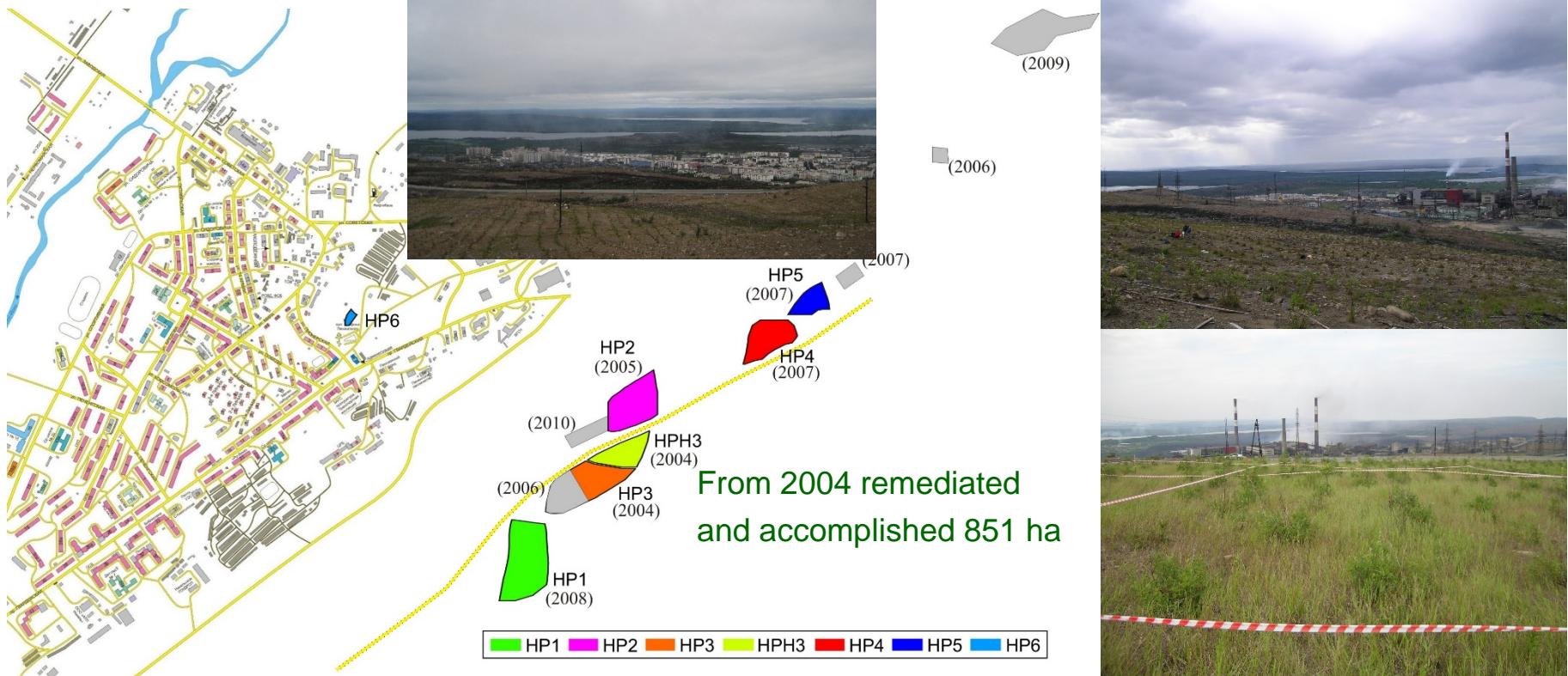
Podzolic soils



Highly eroded

Technogenic digression of forest ecosystems

Pechenganikel Smelter Zone (2010)



Pechenganikel Smelter Zone (2010)



Chemo-phytostabilization



Soil covering

Nikel plots established 2000



Lime, Organic Matter, Fertiliser



Nikel Smelter Zone - Kola Peninsula 2011



Planted 2003



Planted 2004



Planted 2008

Nikel Smelter Zone - Kola Peninsula 2011



2004



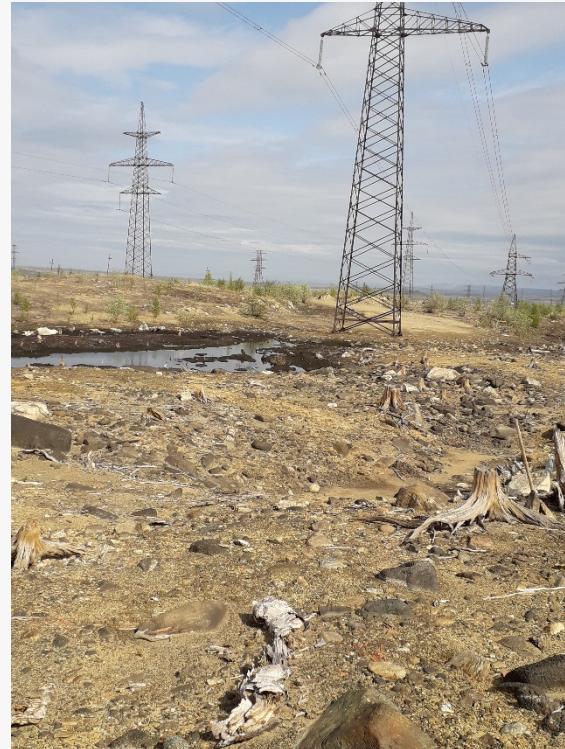
2007



2011

From 2004 remediated 1343 ha

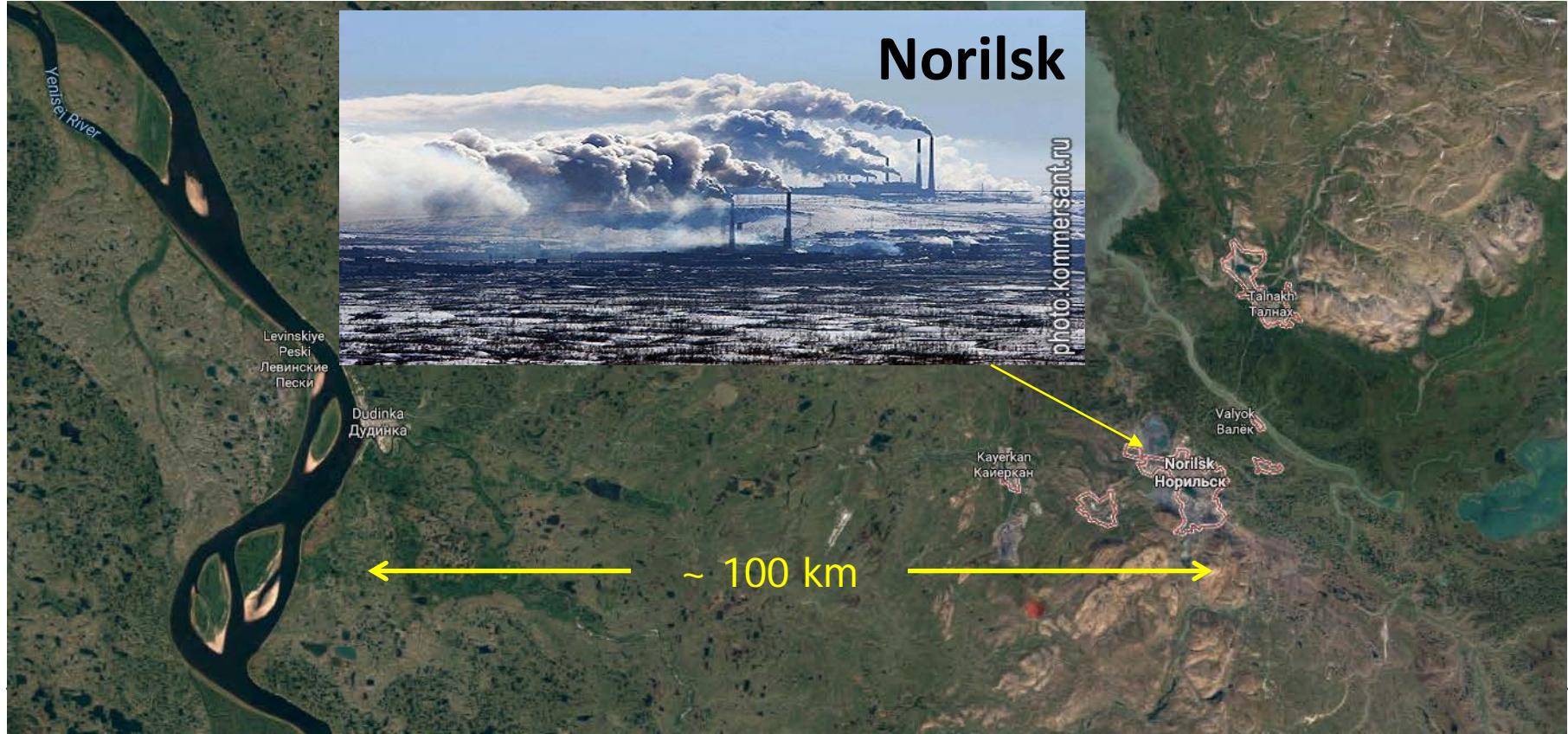
Nikel Smelter Zone - Kola Peninsula 2018



Vegetation, Kola Peninsula



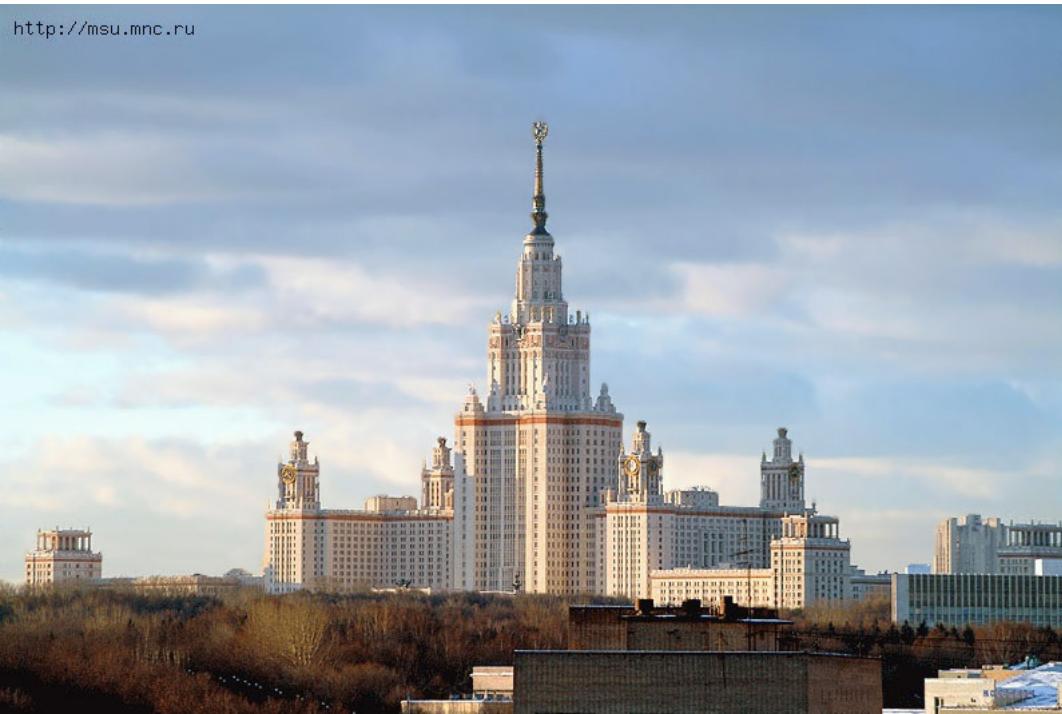
Regreening Norilsk



Meeting at Moscow State University

May. 2010

<http://msu.mnc.ru>



Zapolyarny Tourist Hotel

Location of meeting between industry, government, NGO's and citizens groups to highlight emission improvements and reclamation efforts to date



Zapolyarny Hotel Meeting



III Norilsk Environment Conference - 2012

Norilsk Nickel Offices



Museum and Conference Site



Norilsk – September 2012



2

Западный Вестник
Ноябрь 2013 | 157

Достойно внимания

Открытый диалог

Александр Морозов и Геннадий Кузнецов на заседании Совета по развитию гражданского общества и правам человека

и Народы // В. Струнин

Несколько отходов

Участники заседания отметили, что для многих из них наступивший сезон ознаменован не только началом нового учебного года, но и началом нового этапа в жизни, когда им предстоит вести масштабные консультации с представителями власти.

На заседании Александр Морозов, председатель Совета по развитию гражданского общества и правам человека, подчеркнул, что впереди ученые и практики должны продолжать тесное сотрудничество, направленное на формирование общества, основанного на правах и свободах, на основе принципов демократии, социальной справедливости, уважения к правам человека и институтам гражданского общества.

По словам директора Центра политической конъюнктуры Юрия Борисова, сегодня практика консультаций с представителями власти в сфере политики науки и образования показывает, что наряду с общими проблемами, существующими в обществе, есть и специфические проблемы, связанные с тем, что в последние годы в стране произошли значительные изменения в научной и образовательной сферах.

Одним из первых результатов консультаций стала подготовка и проведение в сентябре этого года в Астрахани всероссийской конференции «Наука и образование в контексте исторических вызовов и перспектив».

«Мы провели конференцию с участием более 100 ученых из 15 стран мира, включая представителей из Астраханской области», — отметил профессор Борисов.

Следует отметить, что в ходе конференции были обсуждены не только

вопросы в сфере науки, но и вопросы, связанные с проблемами, стоящими перед образованием в Астраханской области.

В частности, было отмечено, что в Астраханской области в 2011 году введен в действие закон о создании Астраханского государственного университета имени И.И. Якубова.

«Создание этого университета стало важным шагом в развитии высшего образования в Астраханской области», — отметил профессор Борисов.

Он также подчеркнул, что в Астраханской области в 2011 году введен в действие закон о создании Астраханского государственного педагогического университета имени Н.К. Крупской. «Создание этого университета стало важным шагом в развитии высшего образования в Астраханской области», — отметил профессор Борисов.

«Создание этого университета стало важным шагом в развитии высшего образования в Астраханской области», — отметил профессор Борисов.

«Создание этого университета стало важным шагом в развитии высшего образования в Астраханской области», — отметил профессор Борисов.

учреждений, включая областную научно-исследовательскую обсерваторию имени А.П. Чехова.

В процессе заседания стороны обсудили, каким образом можно улучшить взаимодействие между научными учреждениями и вузами страны для решения задачи по созданию новых научных центров в Астраханской области.

«Создание научно-исследовательских центров в Астраханской области может способствовать решению задачи по созданию новых научных центров в Астраханской области.

В 2013 г. в Астрахани с грантом Министерства науки и высшего образования РФ на сумму 200 млн рублей будет создан научно-исследовательский центр по изучению проблем миграции в Астраханской области.

В 2013 г. в Астрахани с грантом Министерства науки и высшего образования РФ на сумму 200 млн рублей будет создан научно-исследовательский центр по изучению проблем миграции в Астраханской области.

«Создание научно-исследовательского центра по изучению проблем миграции в Астраханской области

Александр Морозов, председатель Совета по развитию гражданского общества и правам человека

Сейчас это очень важно в связи с тем, что мы живем в исторический период, когда в мире происходит множество изменений, связанных с технологиями.

«Все в мире меняется, поэтому мы должны меняться вместе с ним, чтобы не отставать от времени», — подчеркнул Александр Морозов.

«Сейчас это очень важно в связи с тем, что мы живем в исторический период, когда в мире происходит множество изменений, связанных с технологиями.

«Все в мире меняется, поэтому мы должны меняться вместе с ним, чтобы не отставать от времени», — подчеркнул Александр Морозов.

Общими

усладами

В ходе заседания участники обсудили, каким образом можно улучшить взаимодействие между научными учреждениями и вузами страны для решения задачи по созданию новых научных центров в Астраханской области.

«Создание научно-исследовательских центров в Астраханской области может способствовать решению задачи по созданию новых научных центров в Астраханской области.

«Создание научно-исследовательских центров в Астраханской области может способствовать решению задачи по созданию новых научных центров в Астраханской области.

«Создание научно-исследовательских центров в Астраханской области может способствовать решению задачи по созданию новых научных центров в Астраханской области.

«Создание научно-исследовательских центров в Астраханской области может способствовать решению задачи по созданию новых научных центров в Астраханской области.

«Создание научно-исследовательских центров в Астраханской области может способствовать решению задачи по созданию новых научных центров в Астраханской области.

«Создание научно-исследовательских центров в Астраханской области может способствовать решению задачи по созданию новых научных центров в Астраханской области.

Сейчас это очень важно в связи с тем, что мы живем в исторический период, когда в мире происходит множество изменений, связанных с технологиями.

«Все в мире меняется, поэтому мы должны меняться вместе с ним, чтобы не отставать от времени», — подчеркнул Александр Морозов.

«Сейчас это очень важно в связи с тем, что мы живем в исторический период, когда в мире происходит множество изменений, связанных с технологиями.

«Все в мире меняется, поэтому мы должны меняться вместе с ним, чтобы не отставать от времени», — подчеркнул Александр Морозов.

«Сейчас это очень важно в связи с тем, что мы живем в исторический период, когда в мире происходит множество изменений, связанных с технологиями.

«Все в мире меняется, поэтому мы должны меняться вместе с ним, чтобы не отставать от времени», — подчеркнул Александр Морозов.

«Сейчас это очень важно в связи с тем, что мы живем в исторический период, когда в мире происходит множество изменений, связанных с технологиями.

«Все в мире меняется, поэтому мы должны меняться вместе с ним, чтобы не отставать от времени», — подчеркнул Александр Морозов.

«Сейчас это очень важно в связи с тем, что мы живем в исторический период, когда в мире происходит множество изменений, связанных с технологиями.

«Все в мире меняется, поэтому мы должны меняться вместе с ним, чтобы не отставать от времени», — подчеркнул Александр Морозов.

«Сейчас это очень важно в связи с тем, что мы живем в исторический период, когда в мире происходит множество изменений, связанных с технологиями.

«Все в мире меняется, поэтому мы должны меняться вместе с ним, чтобы не отставать от времени», — подчеркнул Александр Морозов.

© разрешение "Ленты" расширенное уставом Сибирской академии Академии Пушкина

Сибирская академия Пушкина — редакция приглашает к участию в конкурсе

Regreening Norilsk Streetscapes



Karabash area, Urals



Karabash



Karabash Smelter District



1910



2004



2010

Karabash Smelter Area



Serpentinite Ridge, Karabash



Karabash, mine site



Karabash Smelter District Soils



Residual shallow Chernozemic soils
under grassland



Karabash Area Landscapes



Downstream from Karabash



Mednogorsk Smelter Area



Mednogorsk Smelter Area



Mednogorsk



Mednogorsk area



Mednogorsk vegetation



Mednogorsk



Mednogorsk



Origin of reclamation species



Acknowledgements:

VETAC Colleagues

City of Greater Sudbury Colleagues

Industry Colleagues (Vale and Glencore)

Laurentian University colleagues

SARA colleagues

Research students

Ontario Government Ministry colleagues

Thank you for your attention