

Оценка современного и будущего состояния криолитозоны северного полушария на основе синтеза данных наблюдений и моделирования

О.Анисимов,
Государственный гидрологический институт,
С.Петербург
oleg@oa7661.spb.edu

1. История развития исследований вечной мерзлоты в России.

2. Современные наблюдения.

3. Моделирование вечной мерзлоты.

4. Роль неклиматических факторов.

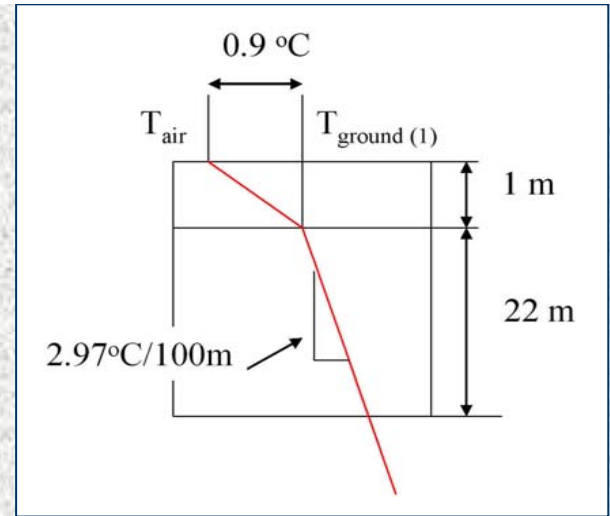
5. Оценка геокриологических последствий изменений климата.

Первая термическая модель вечной мерзлоты



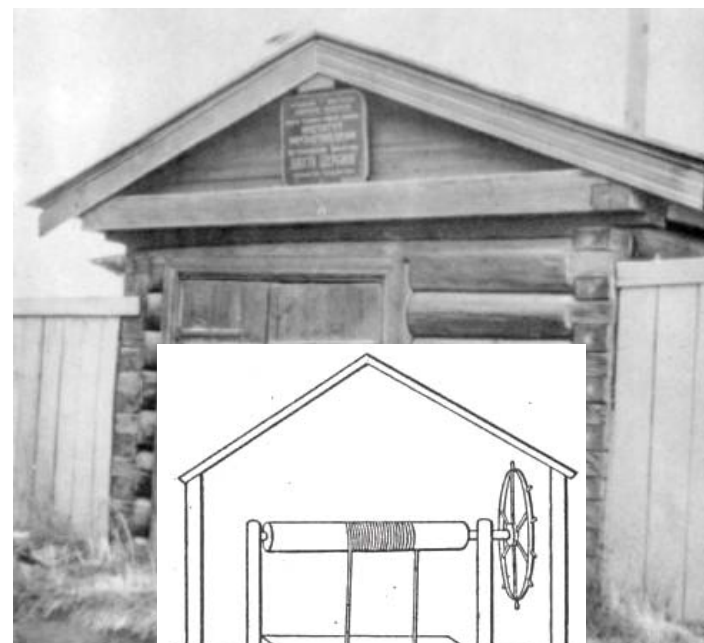
Генрих Иванович
Вильд
(1833 - 1902)

Климаты
Российской
Империи, 1882



$$T_{\text{ПОЧВЫ}} = T_{\text{ВОЗД}} + 0.9 + 0.22 \cdot 2.97 = T_{\text{ВОЗД}} + 1.6 \text{ °C}$$





1828

116.4 m

1837

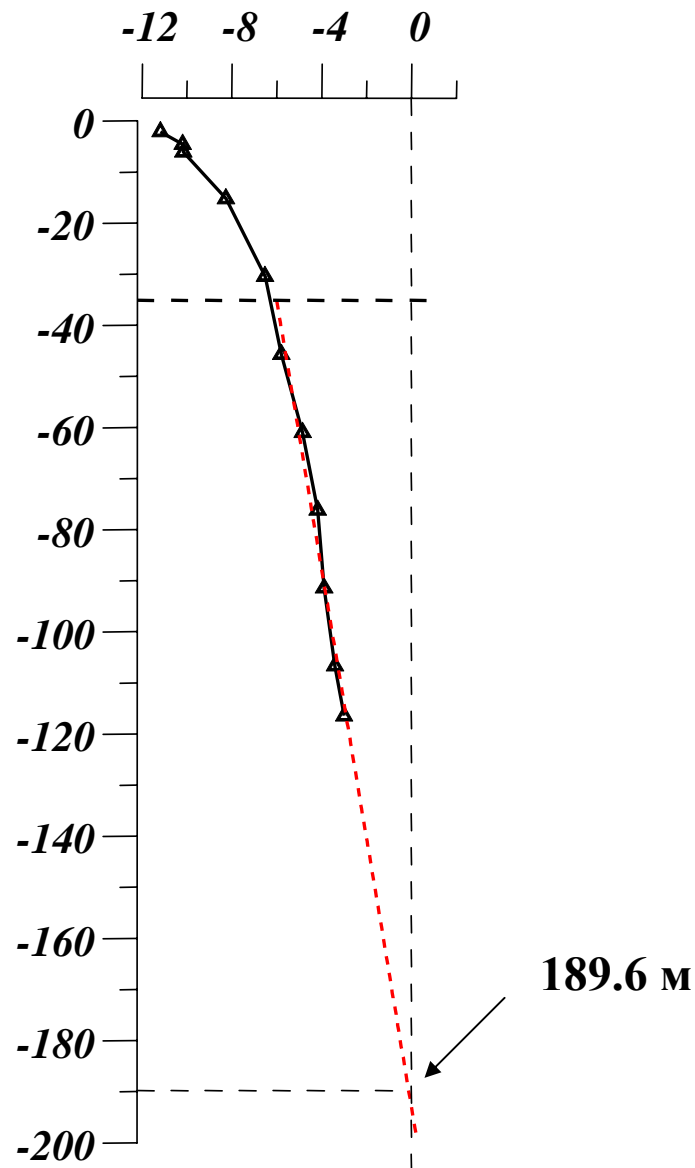
Таблица 41
Температуры в Шергинской шахте

Глубина (в м)	Средняя годовая темпера- тура (в °C)	Глубина (в м)	Средняя годовая темпера- тура (в °C)
2.13	-11.18	60.96	-4.85
4.57	-10.19	76.20	-4.18
6.10	-10.16	91.44	-3.89
15.24	- 8.26	106.68	-3.41
30.48	- 6.52	116.43	-3.00
45.72	- 5.80	—	—

Таблица 42
**Геотермический градиент и геотермическая ступень
для Шергинской шахты**

Глубина (в фут.)	Толщина слоев (в фут.)	Разность средних годовых темпера- тур этих слоев (в °R)	Приращение температур на 1 фут (в °R)	Толщина слоя (в фут. на 1°R)
382—350 (116—106)	32 (9.75)	0.33 (0.41)	0.0103 (0.042)	97 (23.7)
350—300 (106—91)	50 (15.24)	0.38 (0.48)	0.0070 (0.032)	142 (34.4)
300—250 (91—76)	50 (15.24)	0.23 (0.29)	0.0046 (0.019)	217 (53.0)
250—200 (76—71)	50 (15.24)	0.54 (0.68)	0.0108 (0.045)	92 (22.3)
200—150 (61—46)	50 (15.24)	0.76 (0.95)	0.0152 (0.062)	66 (16.2)
150—100 (46—30)	50 (15.24)	0.58 (0.79)	0.0116 (0.047)	87 (21.3)

Примечание. В скобках даны метрические меры для глубины и градусы Цельсия для температуры.



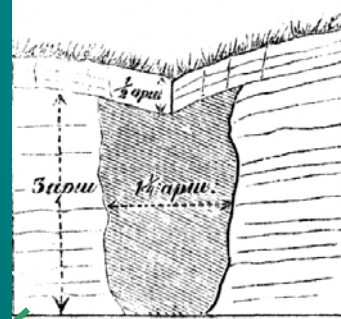
НѢКОТОРЫЯ СВѢДЕНІЯ
О
ЛЕДЯНЫХЪ СЛОЯХЪ
ВЪ ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ.

Горнаго Инженера И. Лопатина.

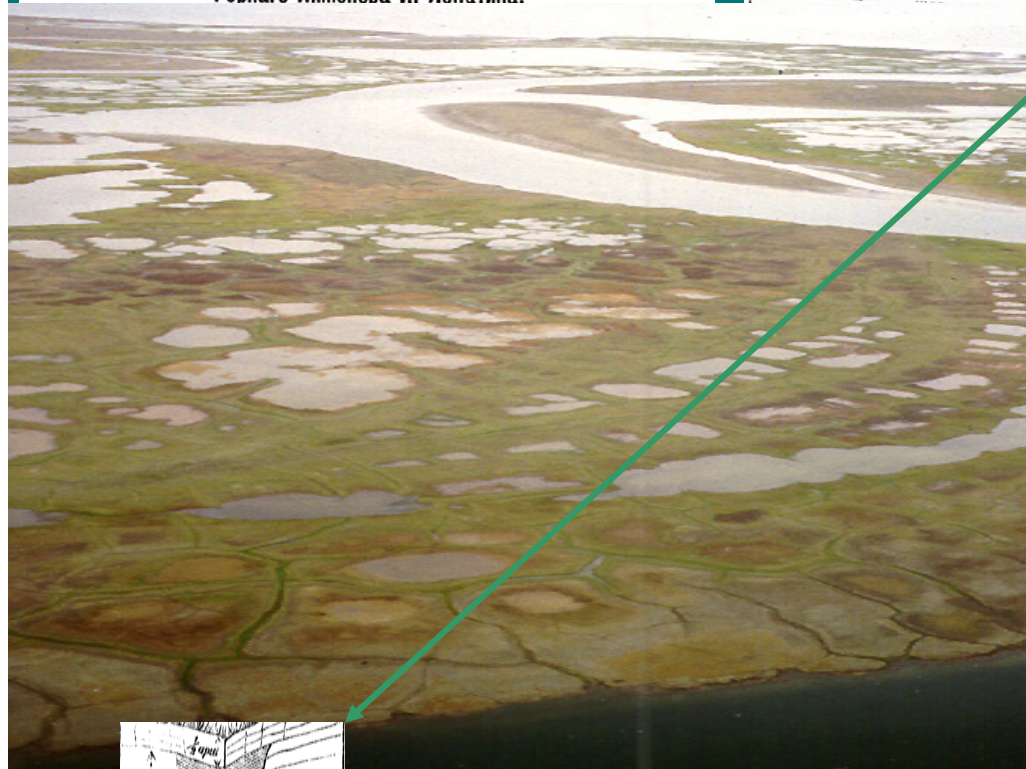
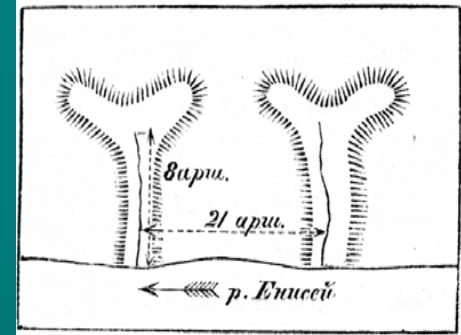
Рис. 3.
Попереч. разрѣзъ (е



Рис. 4.
Поперечный разрѣзъ (есте



Планъ къ рис. 4.

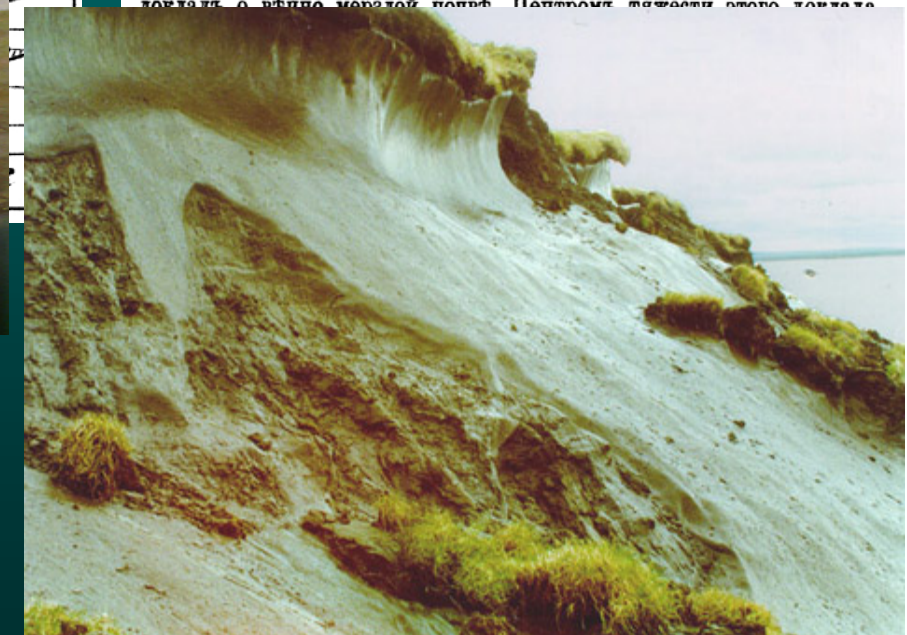


О ВѢЧНО МЕРЗЛОЙ ПОЧВѢ ВЪ СИБИРИ.

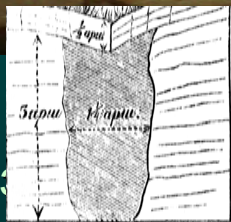
Сообщеніе Горнаго Инженера Л. Ячевскаго.

(Читано въ соединенномъ засѣданіи Отдѣленій Географіи Математической и Географіи Физической 28 апрѣля 1889 г.)

Недѣлю тому назадъ, въ Императорскомъ Русскомъ Техническомъ Обществѣ, въ засѣданіи комисіи по проведенію великой сибирской желѣзной дороги, профессоромъ Воейковымъ былъ сдѣланъ докладъ о вѣчно мерзлой почвѣ. Центромъ тяжести этого доклада

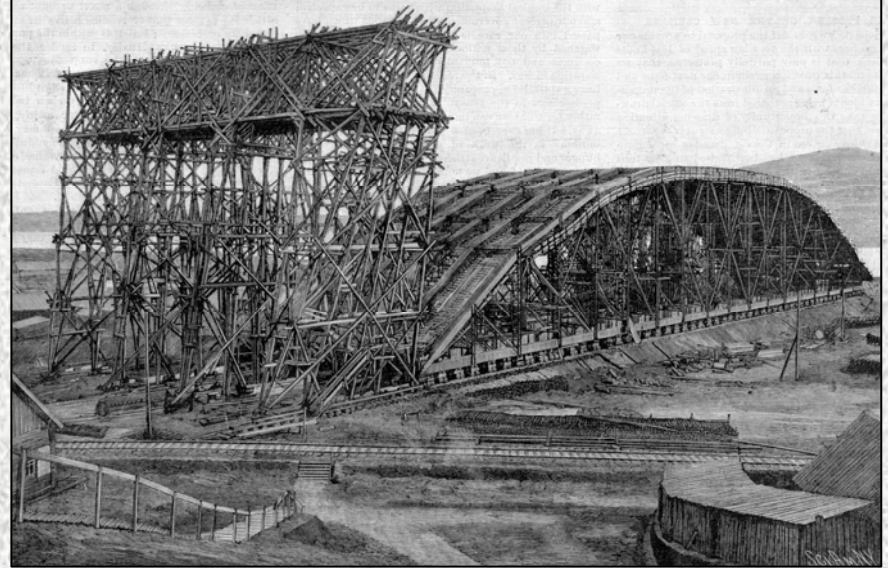


И. Лопатинъ (1876) впервые описал различные типы подземного льда: ледяные жилы, линзы, лед-цемент и т.п. и объяснил причины их формирования

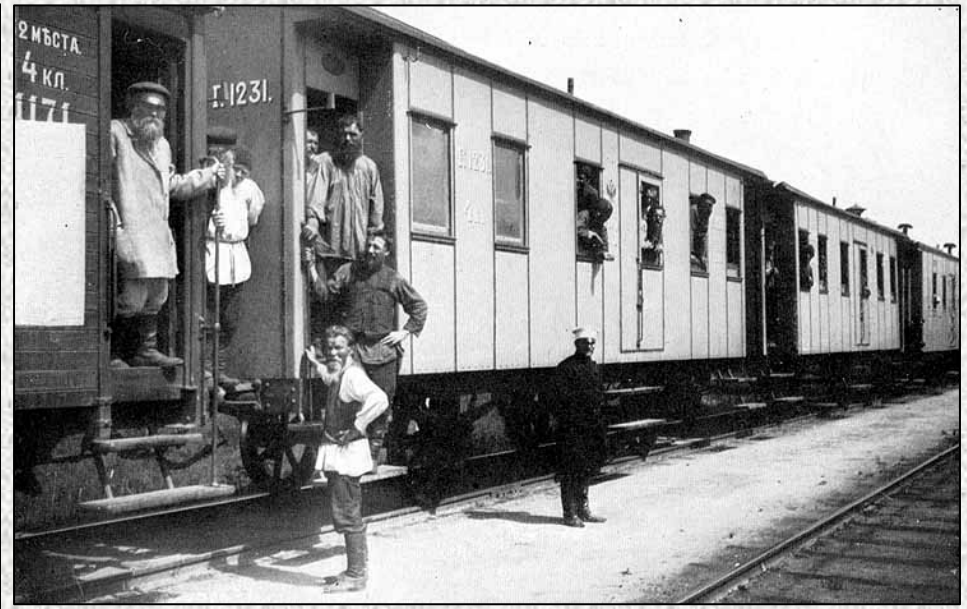




New York Magazine, 26 August 1899



Erection of 469-foot steel trusses for the Great Bridge across the Yenesei. Total length of bridge 2,975 feet.





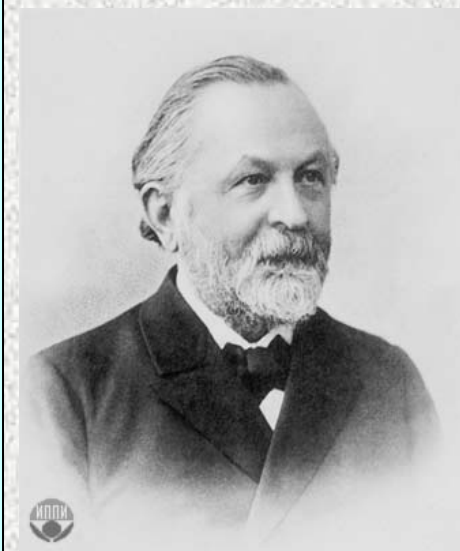
Бэр
Карл Максимович
(1792 – 1876)

*Факты, дополняющие
знания о не тающем
подземном льде, 1842*



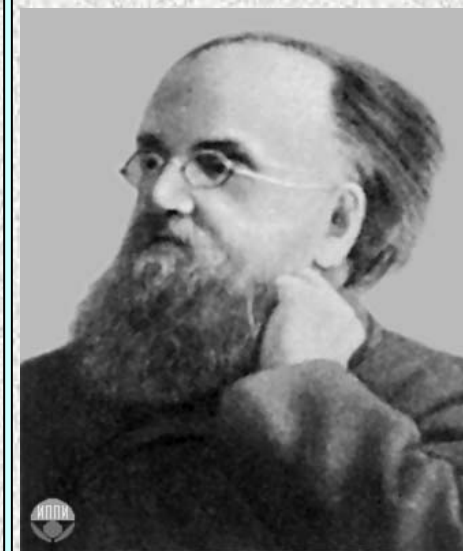
Миддендорф
Александр Федорович
(1815 - 1894)

*Путешествие к Северу и
Востоку Сибири, 1848*



Вильд
Генрих Иванович
(1833 - 1902)

*Климаты Российской
Империи, 1882*



Воейков
Александр Иванович
(1842 - 1916)

*Климаты мира
(в особенности России), 1884*



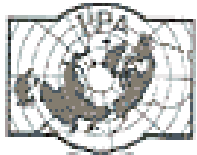
Кропоткин
Петр Алексеевич
(1842 - 1921)

*Серия научных
трудов о Сибири*

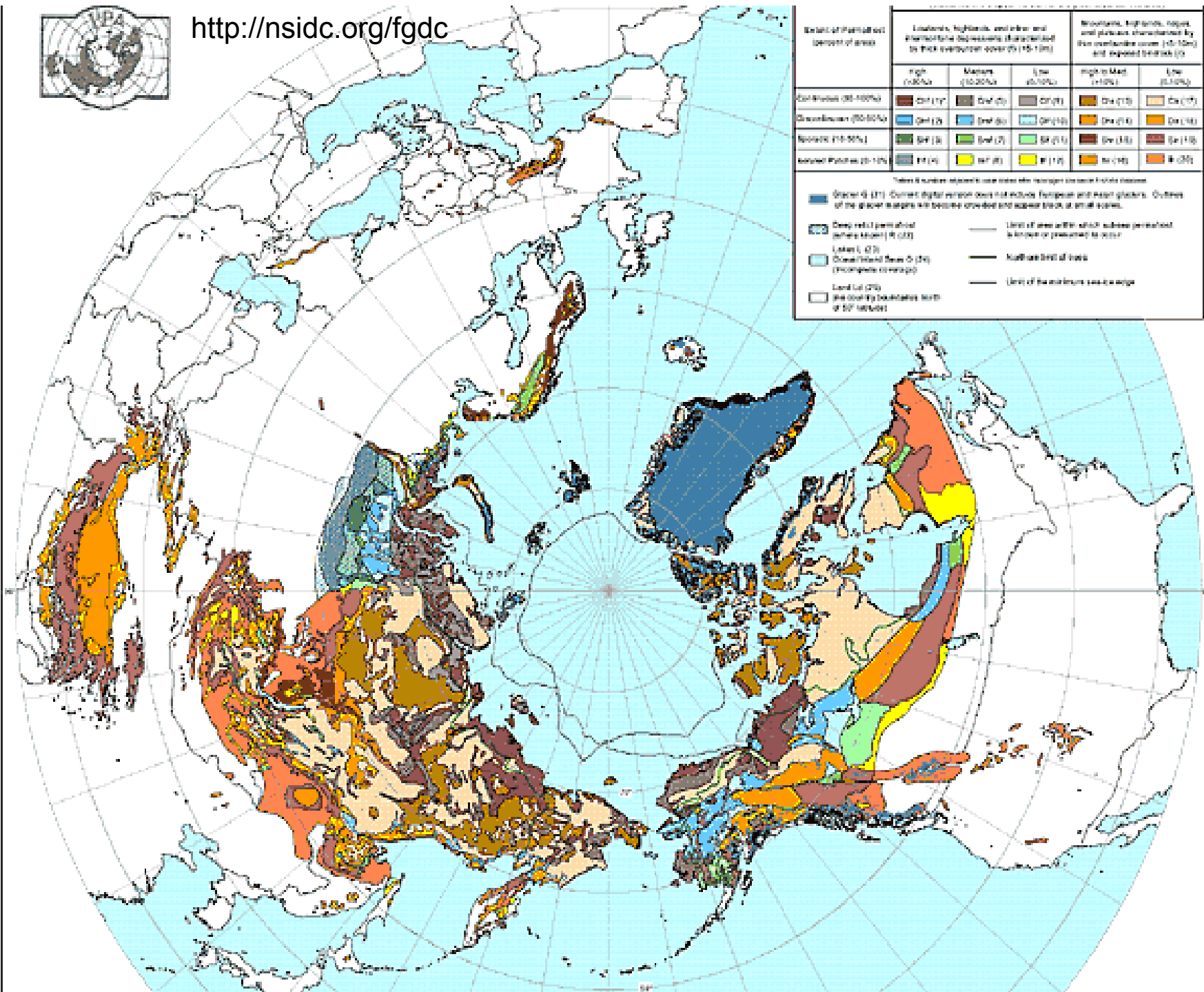


Сумгин
Михаил Иванович
(1873-1942)

*Вечно мерзлые почвы
в СССР, 1927*



<http://nsidc.org/fgdc>



Extent of the feature (percent of area)	Lowlands, highlands, and other characteristics (disaggregated by their overburden cover (0-15-100))			Mountains, highlands, ridges, and plateaus characterized by their overburden cover (0-10-100) and exposed bedrock (0)	
	High (0-25%)	Medium (10-25%)	Low (0-10%)	High to Med (>10%)	Low (0-10%)
Continuum (80-100%)	0a (17)	0b (2)	0c (1)	0d (15)	0e (17)
Discontinuum (50-80%)	1a (2)	1b (8)	1c (1)	1d (1)	1e (1)
Spots (10-50%)	2a (2)	2b (2)	2c (1)	2d (1)	2e (1)
Isolated Patches (0-10%)	3a (1)	3b (1)	3c (1)	3d (1)	3e (1)

Notes: Numbers represent ice mass and storage percent of the glacier.

- 0a-0e (17) Current digital version does not include European and Asian glaciers. Outlines of the glacier margins will become overlaid and appear black at small scales.
- 1a-1e (2) Deep red is permafrost (where known) (R 0.2)
- 2a-2e (2) Limited flow (0-1%) (incomplete coverage)
- 3a-3e (1) Land Use (0) (the country boundaries north of 50° latitude)
- Limit of area within which surface permafrost is known or presumed to occur
- North-south limit of flow
- Limit of the maximum ice on the edge

Сеть наблюдений за термическим состоянием вечной мерзлоты в скважинах

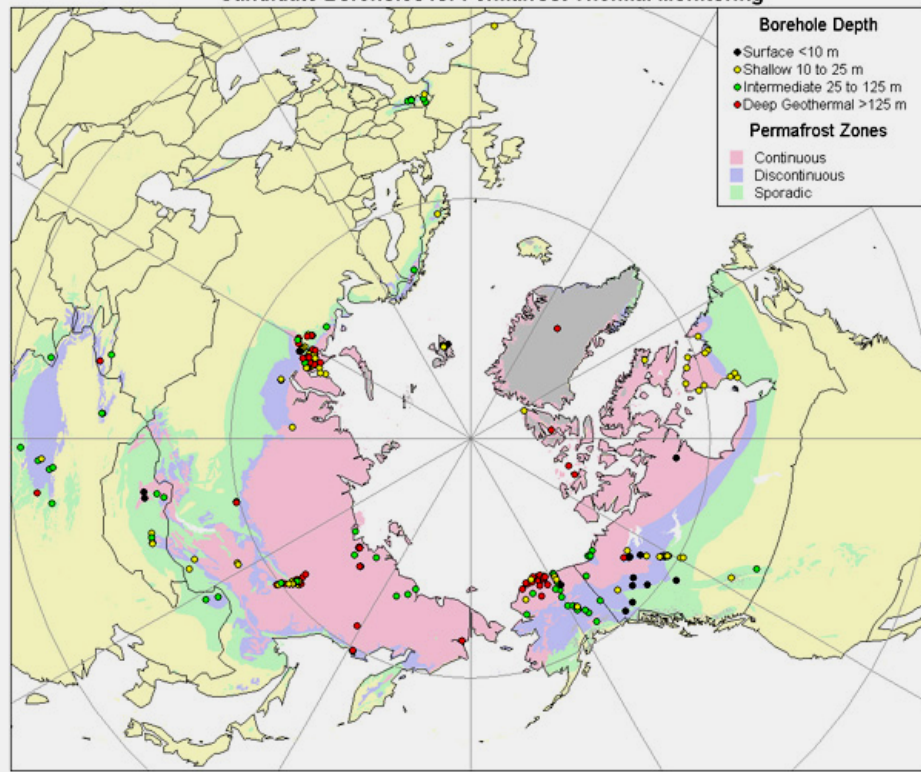


<http://nsidc.org/fgdc>

Сеть мониторинга глубины сезонного протаивания вечной мерзлоты

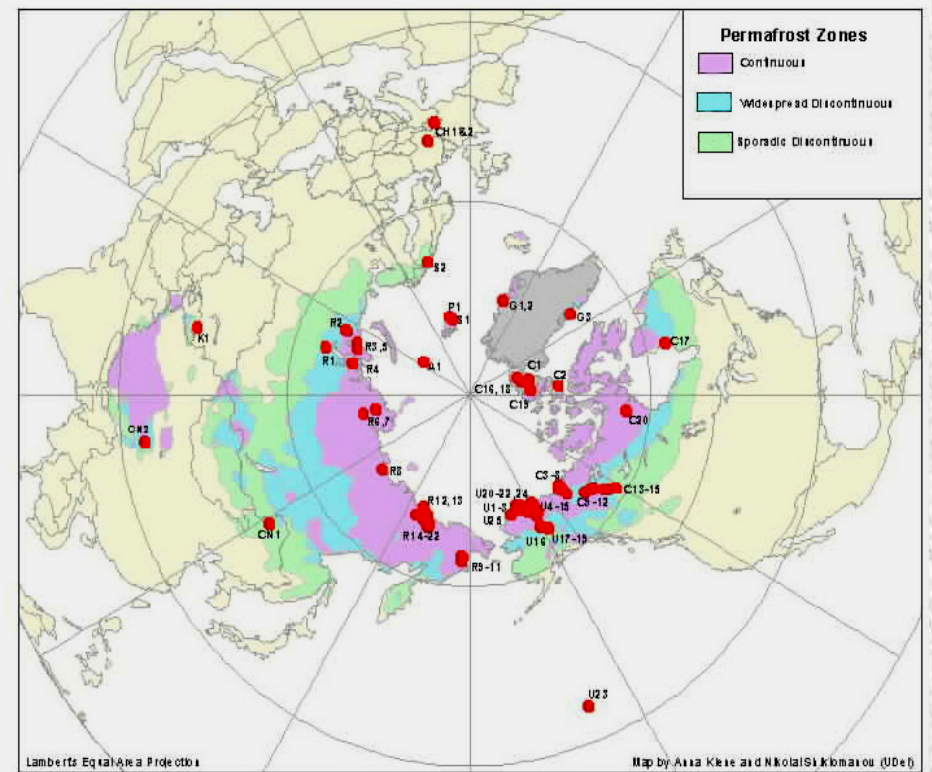


Candidate Boreholes for Permafrost Thermal Monitoring



Map compiled by S.L. Smith, Geological Survey of Canada, March, 2001

Circumpolar Active Layer Monitoring (CALM) Network



Lambert's Equal Area Projection

Map by Anna Khe and Nikolai Skokosov (Udel)

www.gtnp.org

www.udel.edu/Geography/calm

Современные изменения температуры многолетнемерзлых пород (ММП) по данным измерений (IPCC, 2007)

Регион	Глубина, м	Период	ΔТ ММП, °С	Источник
США				
Арктическое побережье Аляски	~1	1910's–1980's	2-4	Lachenbruch and Marshall, 1986
Арктическое побережье Аляски	20	1983–2003	2–3	Osterkamp, 2005
Континентальная Аляска	20	1983–2003	0.5–1.5	Osterkamp, 2005
Канада				
Alert, Nunavut	15	1995–2000	0.8	Smith S. L. et al., 2003
Northern Mackenzie Valley	20-30	1990–2002	0.3-0.8	Smith S. L. et al., 2005
Central Mackenzie Valley	10–20	Mid-1980s–2003	0.5	Smith S. L. et al., 2005
Southern Mackenzie Valley	~20	Mid-1980s–2003	0	–Haerberli and Burn, 2002
Northern Quebec	10	Late 1980s-mid-1990s	<–1	Allard et al., 1995
Northern Quebec	10	1996–2001	1.0	DesJarlais, 2004.
Lake Hazen	2.5	1994–2000	1.0	Broll et al., 2003
Iqaluit, Eastern Canadian Arctic	5	1993–2000	2.0	Smith S. et al., 2005
Россия				
Восточная Сибирь	1.6–3.2	1960–2002	~1.3	Walsh et al., 2005
Север Западной Сибири	10	1980–1990	0.3–0.7	Pavlov, 1996
Север ЕТР, Зона сплошных ММП	6	1973–1992	1.6–2.8	Pavlov, 1996
ЕТР, прерывистые ММП	6	1970–1995	1.2–2.8	Oberman and Mazhitova, 2001
Зап.Европа				
Juvvasshoe, Southern Norway	~3	Past 30–40 years	0.5-1.0	Isaksen et al., 2001
Janssonhaugen, Svalbard	~2	Past 60–80 years	1-2	Isaksen et al., 2001
Murtel-Corvatsch	11.5	1987–2001	1.0	Vonder Muhll et al., 2004
Китай				
Tibetan Plateau	~10	1970's–1990's	0.2-0.5	Zhao et al., 2004
Qinghai-Xizang Highway	3–5	1995–2002	Up to 0.5	Wu and Liu, 2003; Zhao et al., 2004
Tianshan Mountains	16-20	1973–2002	0.2–0.4	Qiu et al., 2000; Zhao et al., 2004
Da Hinggan Mountains, Northeastern China	~2	1978–1991	0.7–1.5	Zhou et al., 1996

www.udel.edu/Geography/calm

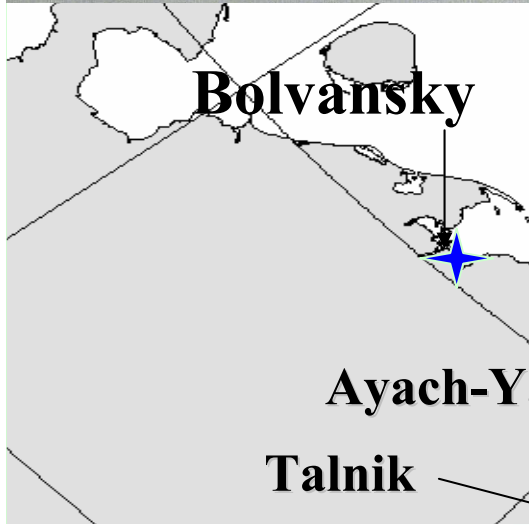
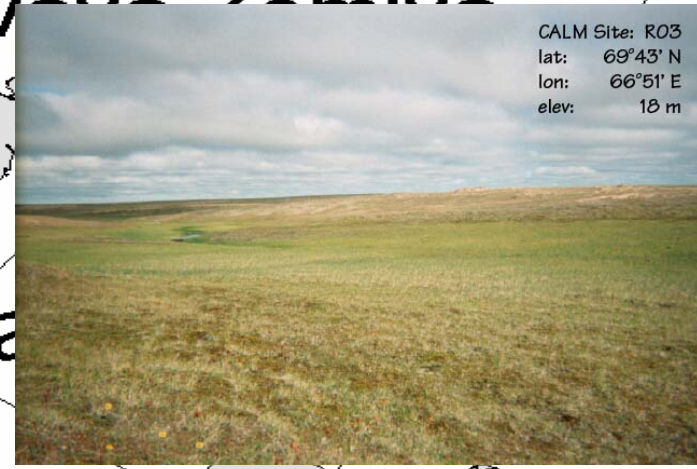
<http://nsidc.org/fgdc>



a

Novaya Zemlya

CALM Site: R03
lat: 69°43' N
lon: 66°51' E
elev: 18 m



Bolvansky

CALM site: R2
lat: 67°35' N
lon: 64°11' E
elev: 148 m



Ayach-Yakha

Talnik

Yamal

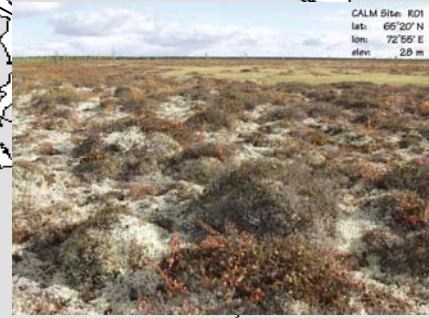
Gydan

Taymyr



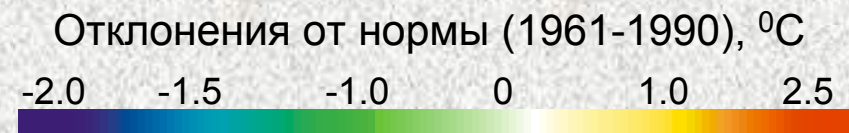
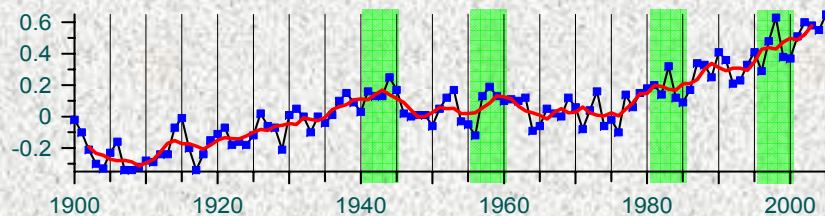
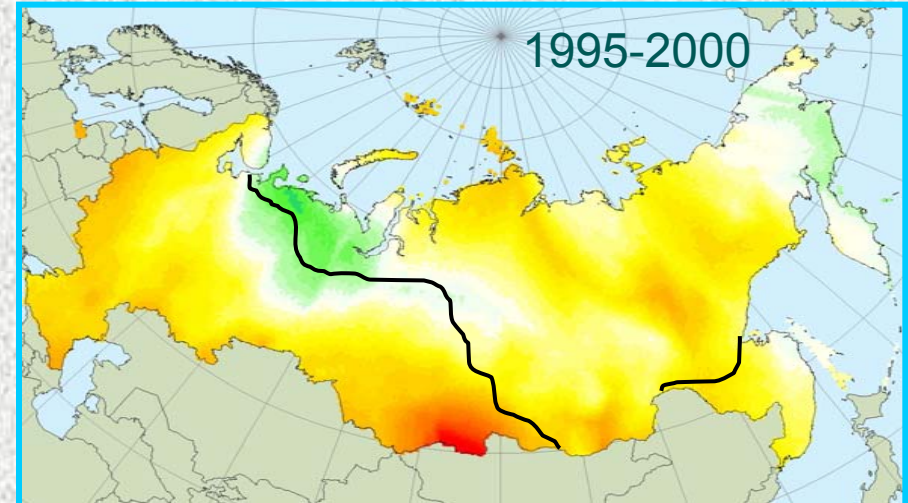
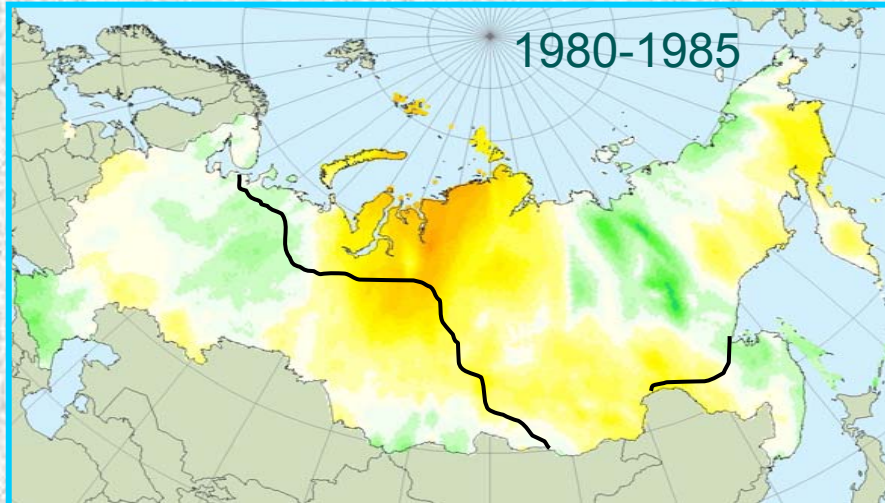
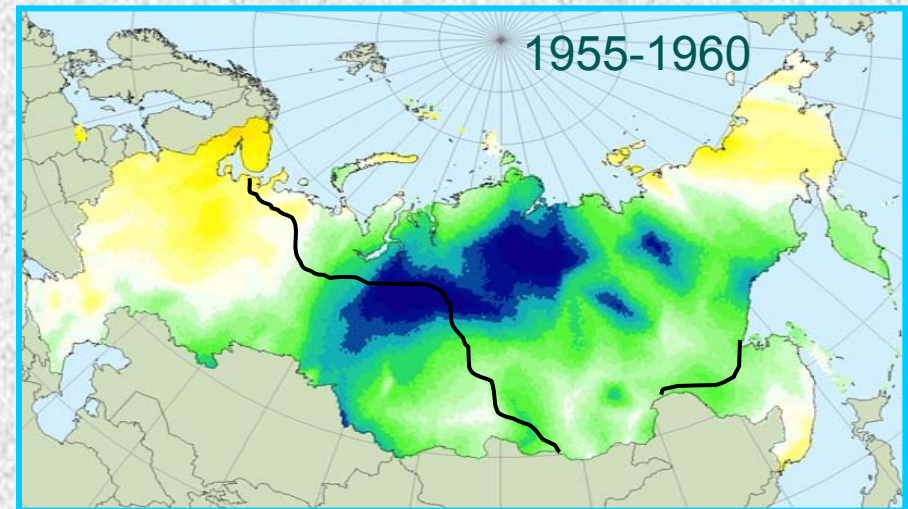
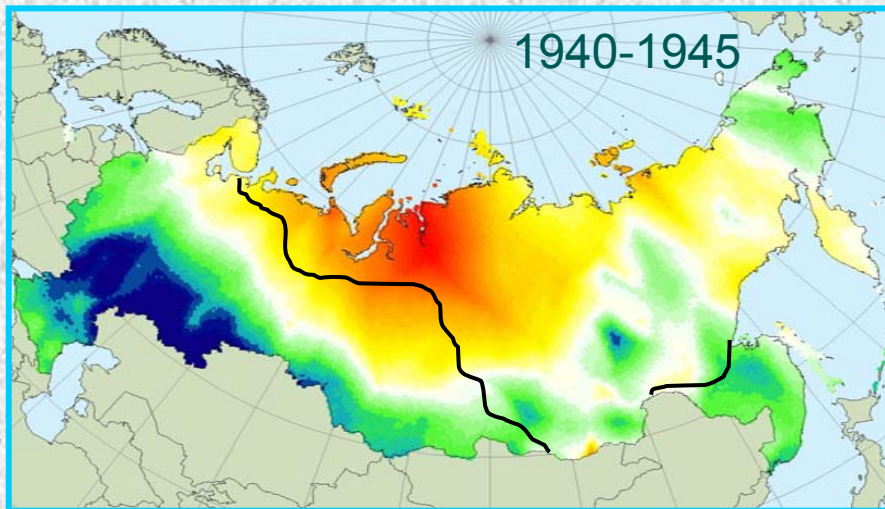
Nadym

CALM Site: R01
lat: 66°20' N
lon: 72°56' E
elev: 28 m



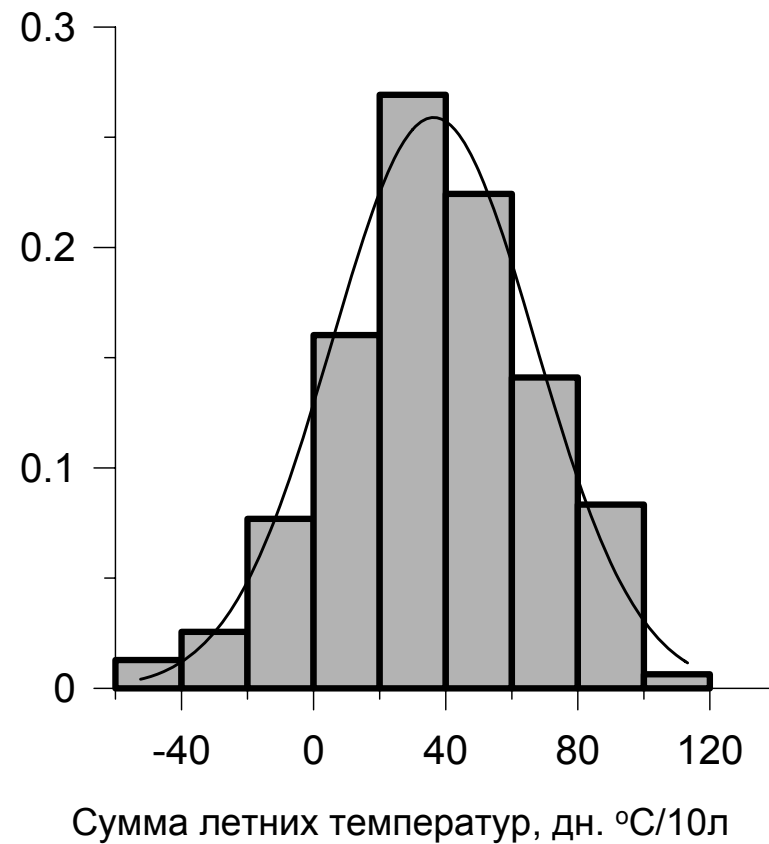
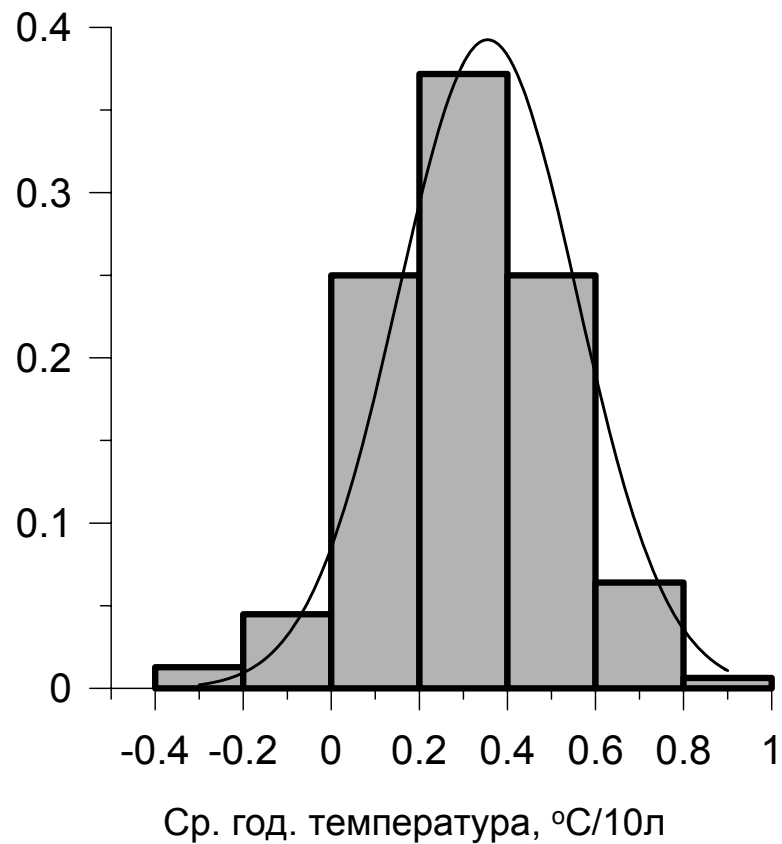
Оценка репрезентативности наблюдений ММП

Региональные аномалии среднегодовой температуры в середине и в конце 20 в.



Оценка репрезентативности наблюдений ММП

Частотное распределение изменений температурных характеристик на территории России в период 1970-2002.
(по данным 455 метеостанций, архив Груза и др., 2006)

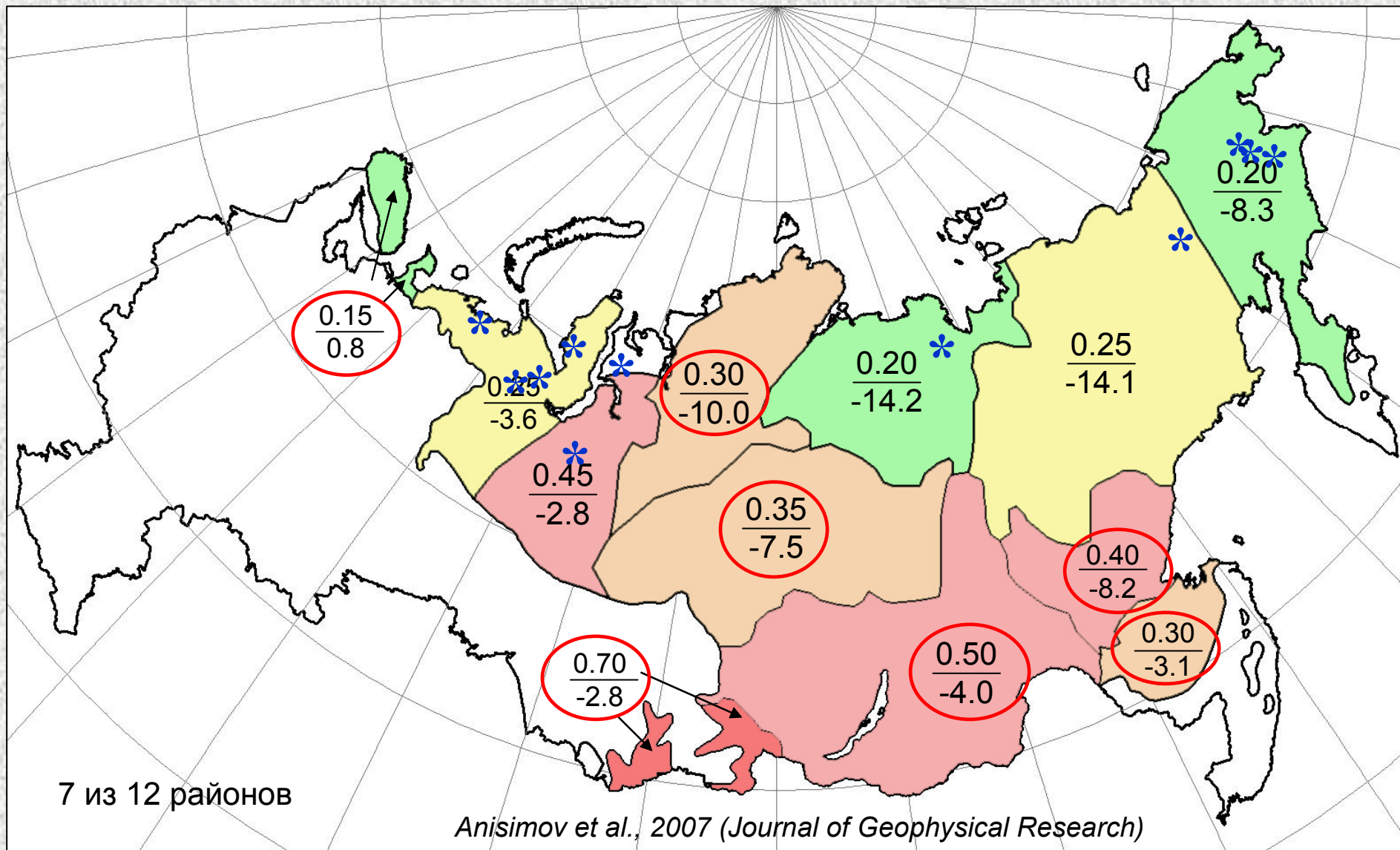


Оценка репрезентативности наблюдений ММП

Районы с однородными изменениями климатических характеристик в период 1970-2002.

Средняя годовая температура воздуха.

Числитель - тренд, °C/10 лет, знаменатель – средняя по району температура.

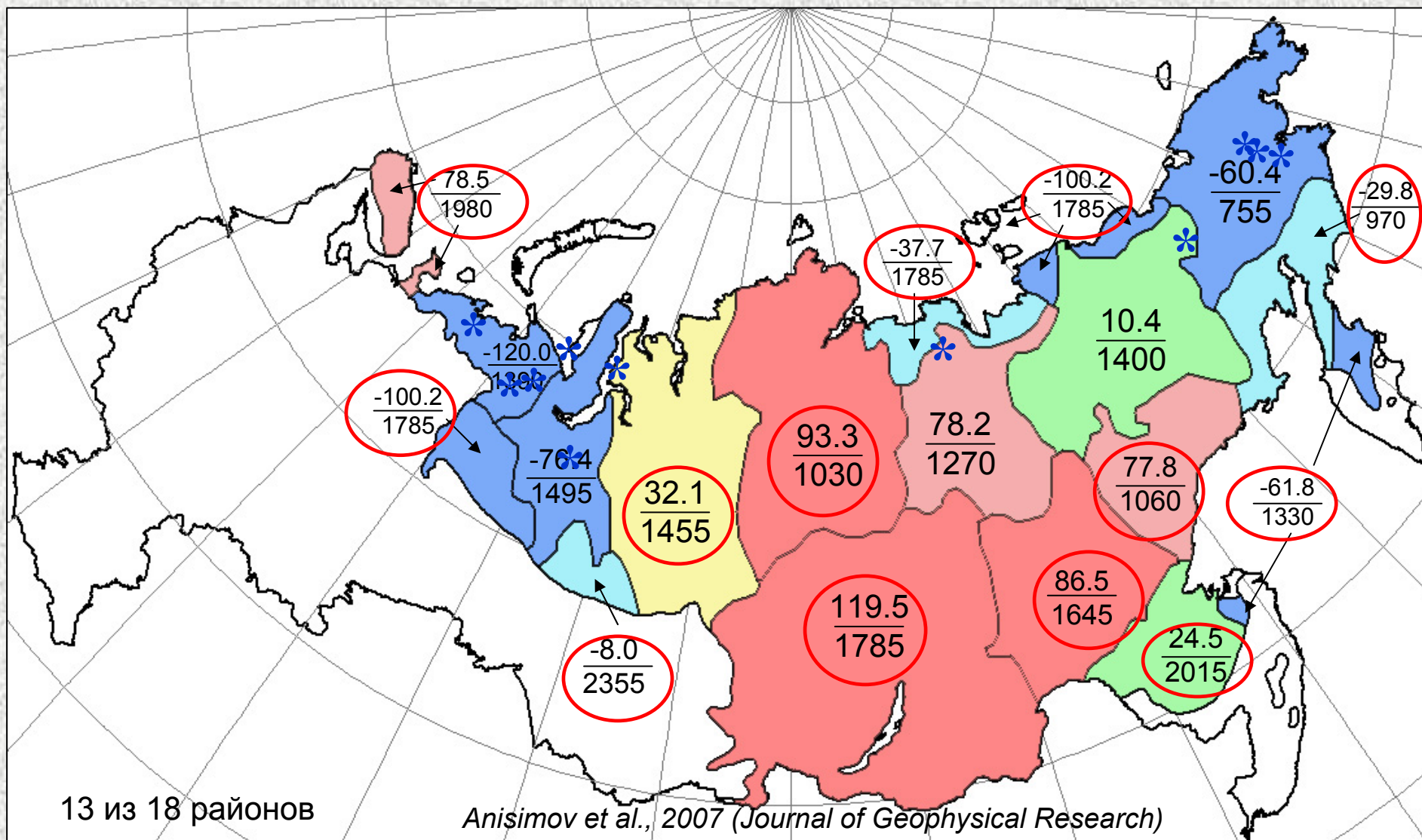


Оценка репрезентативности наблюдений ММП

Районы с однородными изменениями климатических характеристик в период 1970-2002.

Сумма летних температур воздуха.

Числитель - тренд, °C дн./10 лет, знаменатель – средняя по району сумма температур.



Моделирование взаимодействия климата и вечной мерзлоты

1. Физически полные динамические модели.
2. Стационарные модели.
3. Стохастические модели.

Схема динамической модели гидротермического режима многолетнемерзлого грунта



Уравнение теплового баланса

$$Q(1-\alpha) - E_r(T_s) - P(T_s) - B(T_s) - LE(T_s) = 0$$

$$E_r(T_s) = E_r^0(T_s) (1 - 0.79 n) + 4 \delta \sigma T^3(T_s - T); \quad E_r^0(T_s) = \delta \sigma T^4(0.39 - 0.058 e^{1/2});$$

$$P(T_s) = \rho_a c_a v D_t (T_s - T); \quad B = \lambda \frac{dT}{dz} \quad \begin{array}{l} E = E_0, \quad \text{if } w > w_k \\ E = E_0 w/w_k, \quad \text{if } w \leq w_k \end{array} \quad E_0 = \rho_a v D_t (e_u - e)$$

Уравнение теплопроводности

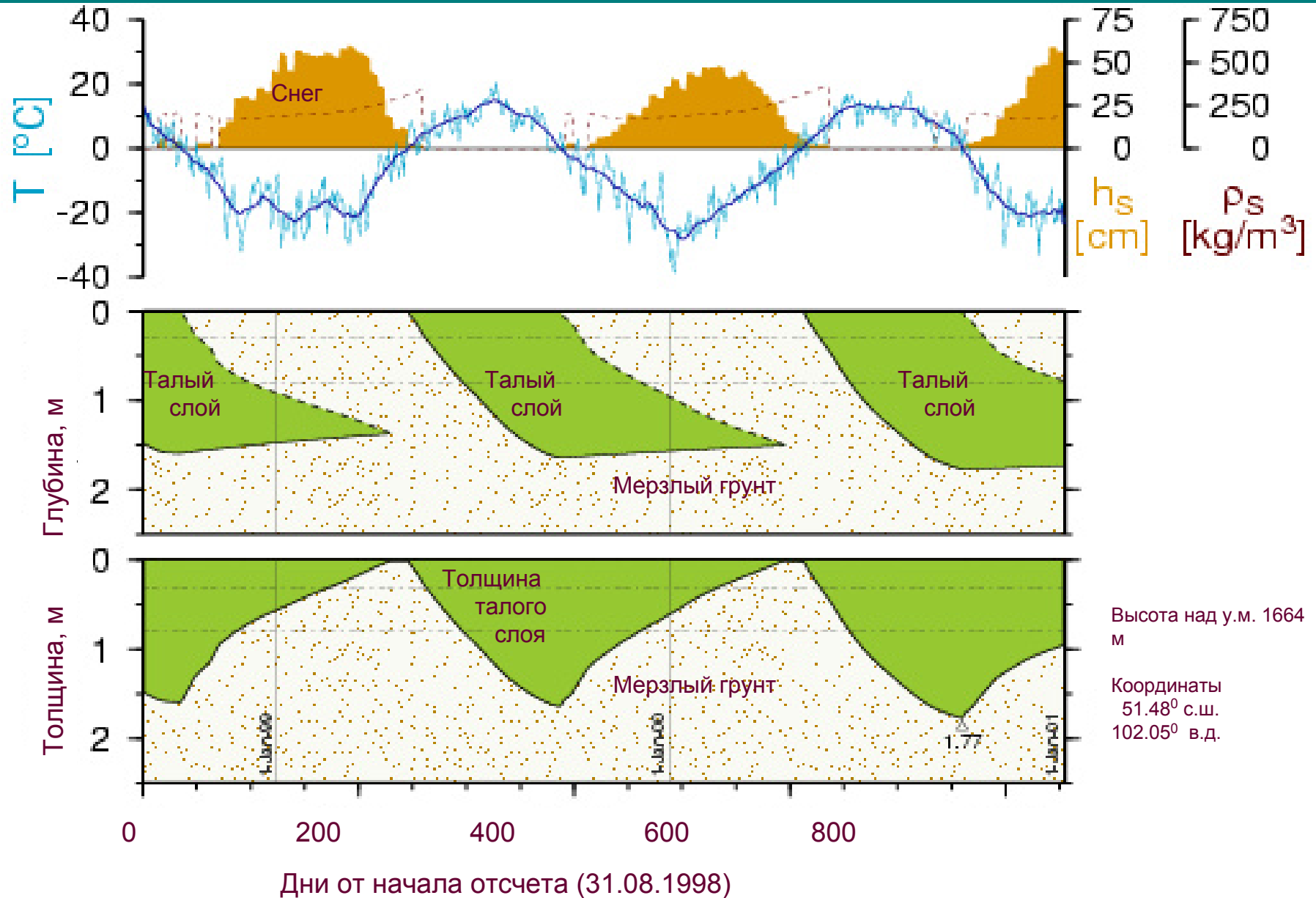
$$\rho c \frac{dT}{dt} = \frac{d}{dz} \left(\lambda \frac{dT}{dz} \right) \quad \frac{dz_j}{dt} = (-1)^{j+1} \frac{1}{wL} \left(\lambda_{\square} \frac{dT}{dz} \Big|_{z=z_{j+0}} - \lambda_{\ast} \frac{dT}{dz} \Big|_{z=z_{j-0}} \right)$$

Уравнение водного баланса

$$z_t \frac{dw}{dt} = R - E - f \quad f = R \frac{w}{w_k} \sqrt{m^2 \left[1 - \left(1 - \frac{E_0}{R} \right)^2 \right] + \left(1 - \frac{E_0}{R} \right)^2}, \quad \text{if } R > E_0$$

$$f = m R w/w, \quad \text{if } R \leq E_0$$

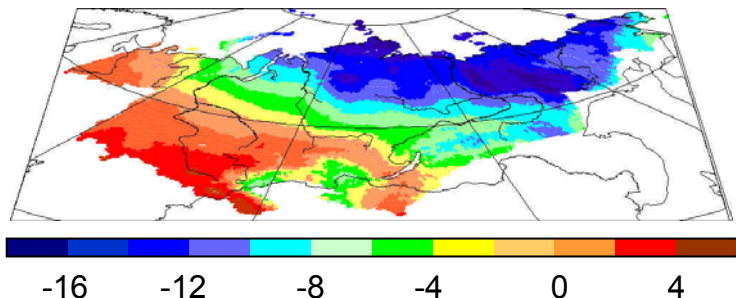
Пример расчета по динамической модели



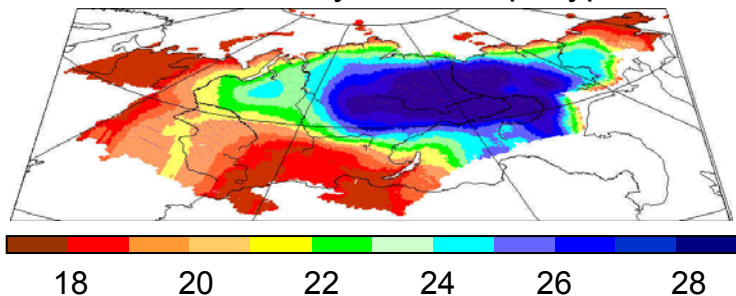
Стационарная модель промежуточной сложности

(Кудрявцев, 1974)

Ср. годовая температура воздуха, °C



Годовая амплитуда температуры, °C



Глубина сезонного таяния, м

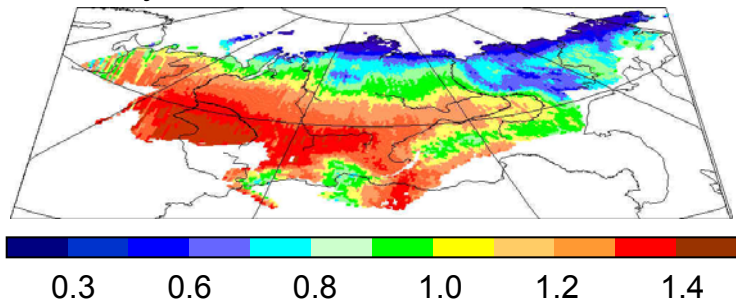
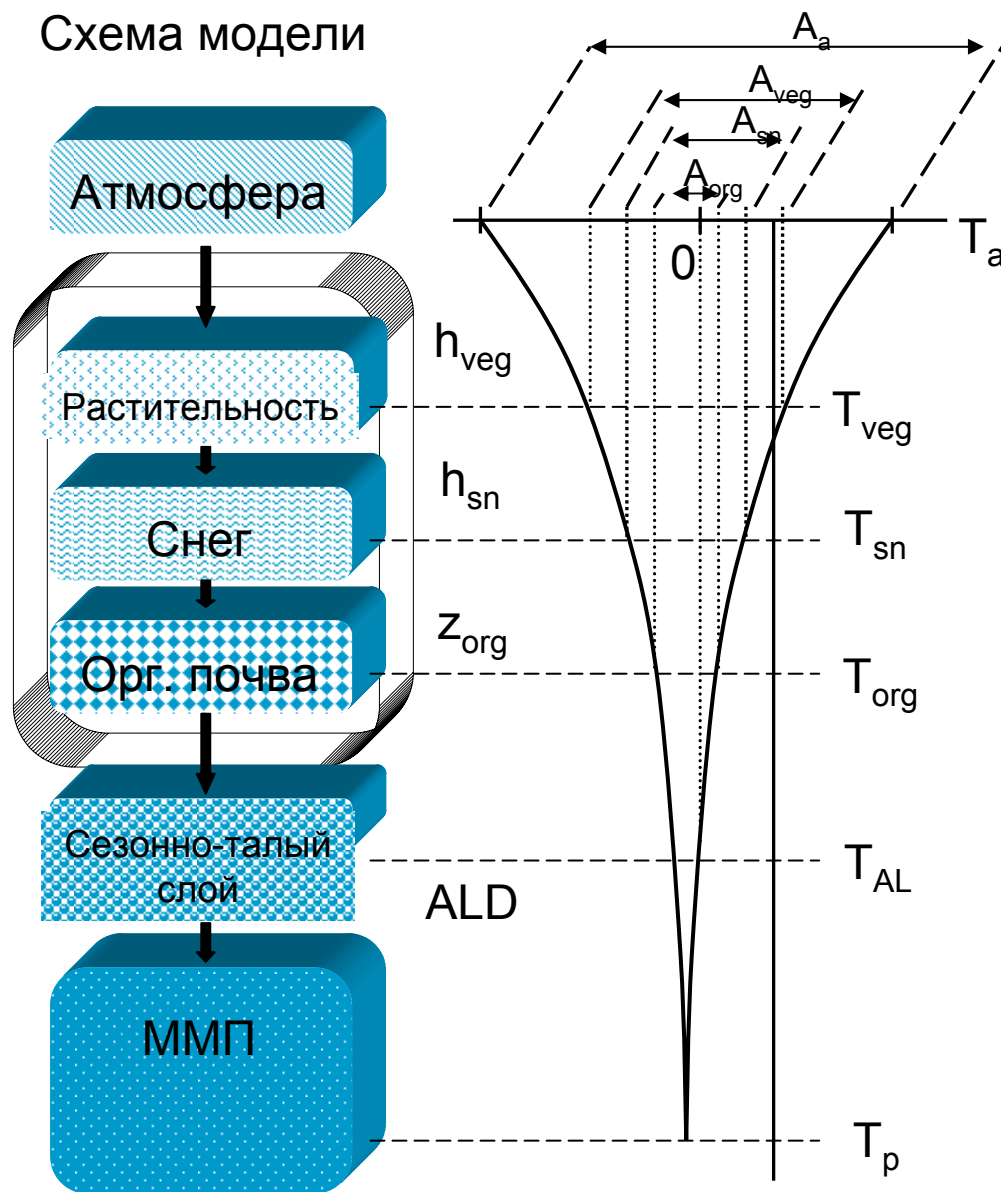


Схема модели



Климатические данные для расчетов по модели ММП

Архивы, полученные интерполяцией измерений на метеостанциях

CRU TS 2.1

Разрешение: 0.5° lat/long

Период: 1901-2002

<http://www.cru.uea.ac.uk/>
[*Mitchell and Jones, 2005*]

W&M

Разрешение: 0.5° lat/long

Период: 1930-2004

<http://climate.geog.udel.edu/~climate/>
[*Matsuura and Willmott, 2005*]

Архивы, основанные на модельном реанализе наблюдений

ERA-40

Разрешение: N80 (прибл. 125 km)

Период: 1957-2002

<http://www.ecmwf.int/>
[*Kallberg et al., 2004*]

NCEP-1

Разрешение: T62 (1.875° lat/long)

Период: 1948-2004

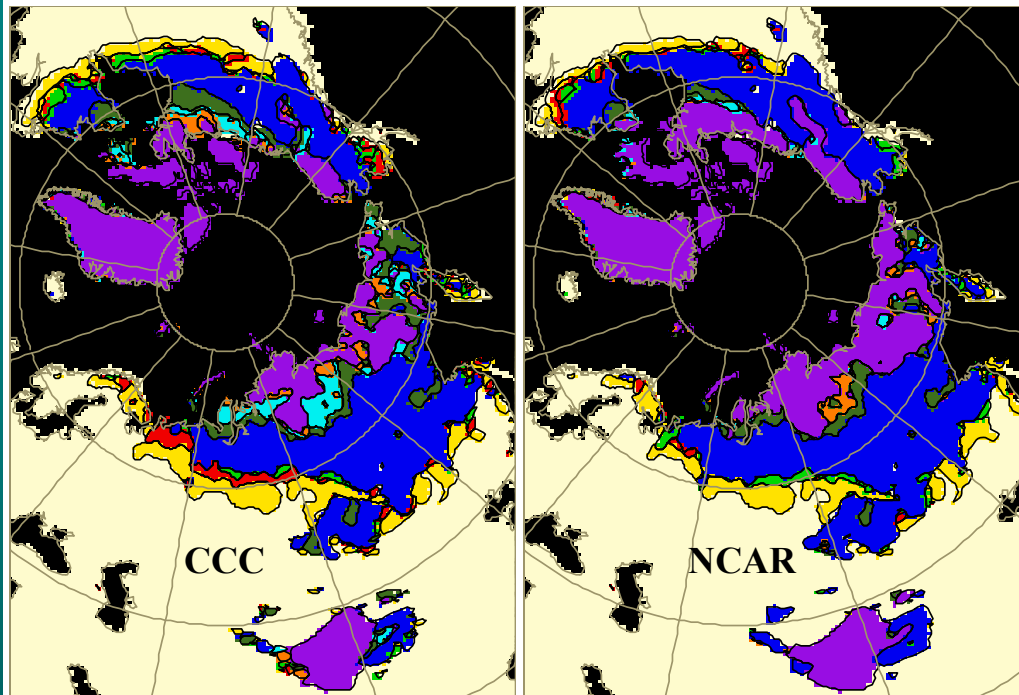
<http://dss.ucar.edu/pub/reanalysis/>
[*Serreze et al., 2005*]

Расчет изменения площади распространения вечной мерзлоты для 2030, 2050, и 2080*.

*
Использованы климатические прогнозы следующих моделей:

- 1 - Canadian Climate Center Model (CCC),
- 2 - NCAR model,
- 3 - European Max-Planck Institute model (ECHAM),
- 4 - GFDL climate model,
- 5 - UK Hadley Center model (HadCM3).

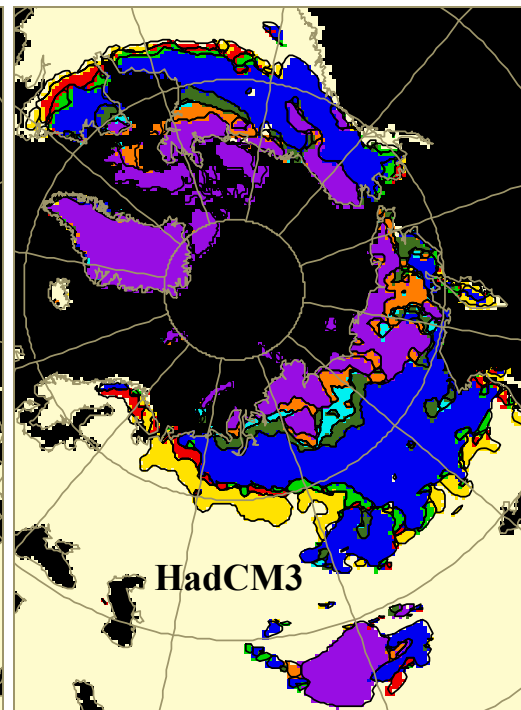
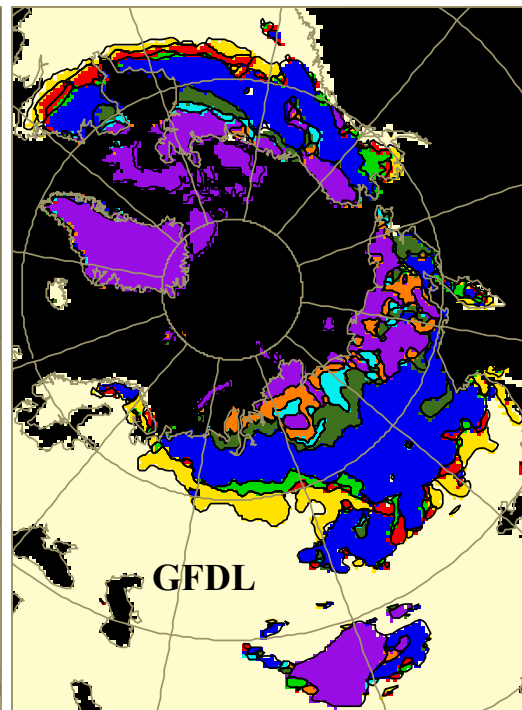
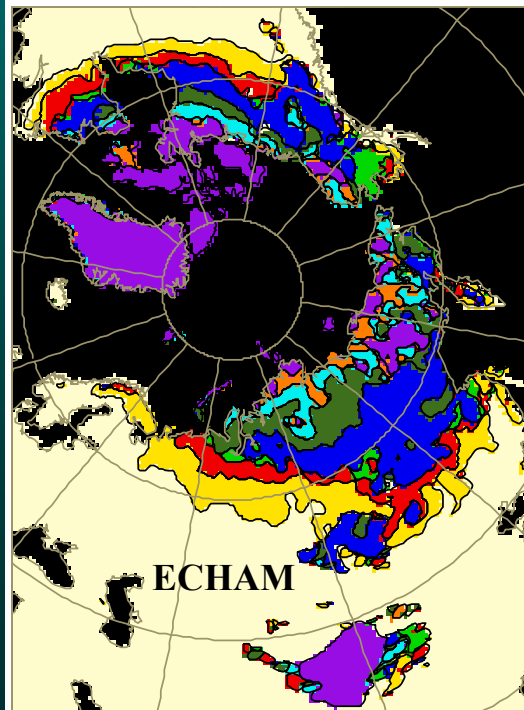
<http://zubov.atmos.uiuc.edu/ACIA/>



Динамика распространения вечной мерзлоты

- 2 – сокращение островной зоны к 2030
- 3 – сокращение островной зоны к 2050
- 4 – сокращение островной зоны к 2080
- 5 – устойчивая зона прерывистой мерзлоты
- 6 – сокращение сплошной мерзлоты к 2030
- 7 – сокращение сплошной мерзлоты к 2050
- 8 – сокращение сплошной мерзлоты к 2080
- 9 – устойчивая область сплошной мерзлоты

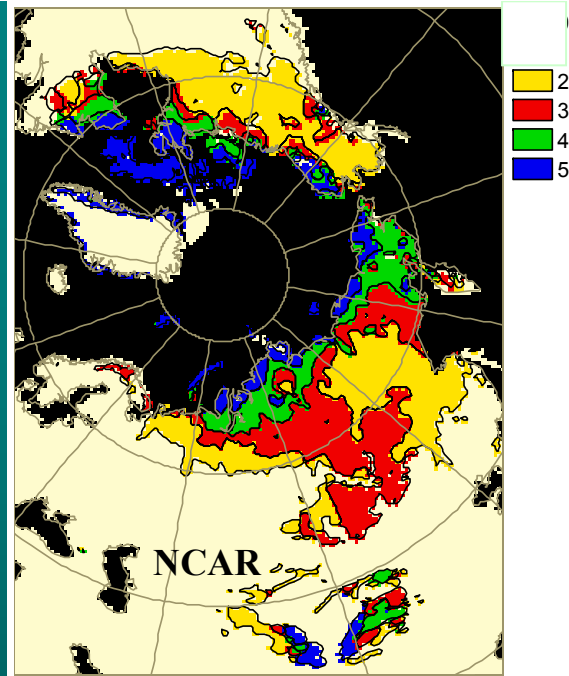
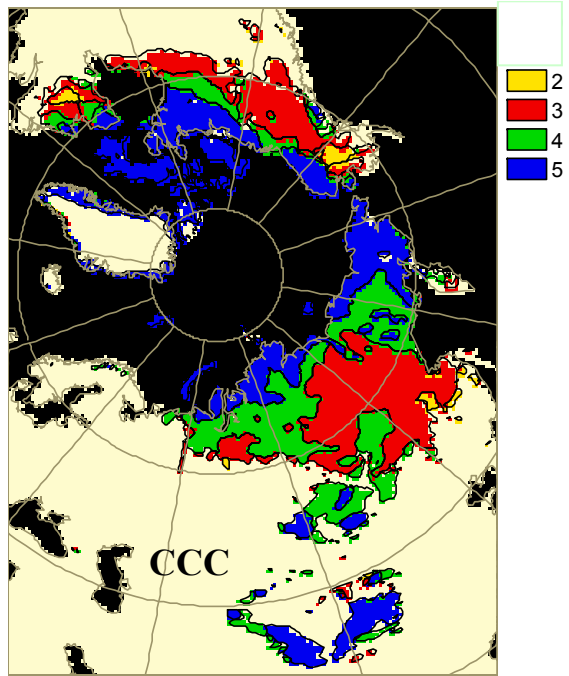
(Анисимов и Белолуцкая, 2005;
АСИА, 2005)



Прогнозируемые изменения площади вечной мерзлоты

Модель	Общая площадь криолитозоны, млн. км ² и % от современной			Площадь сплошной криолитозоны, млн. км ² и % от современной		
	2030	2050	2080	2030	2050	2080
CCC	23.72	21.94	20.66	9.83	8.19	6.93
	87%	81%	76%	79%	66%	56%
ECHAM	22.30	19.31	17.64	9.37	7.25	5.88
	82%	71%	65%	75%	58%	47%
GFDL	24.11	22.38	20.85	10.19	8.85	7.28
	89%	82%	77%	82%	71%	59%
HadCM3	24.45	23.07	21.36	10.47	9.44	7.71
	90%	85%	78%	84%	76%	62%
NCAR	24.24	23.64	21.99	10.69	10.06	9.14
	89%	87%	81%	86%	81%	74%

(Анисимов и Белопуцкая, 2005;
ACIA, 2005)



Прогноз изменения
глубины сезонного таяния
к 2050 г. (% от
современной нормы).

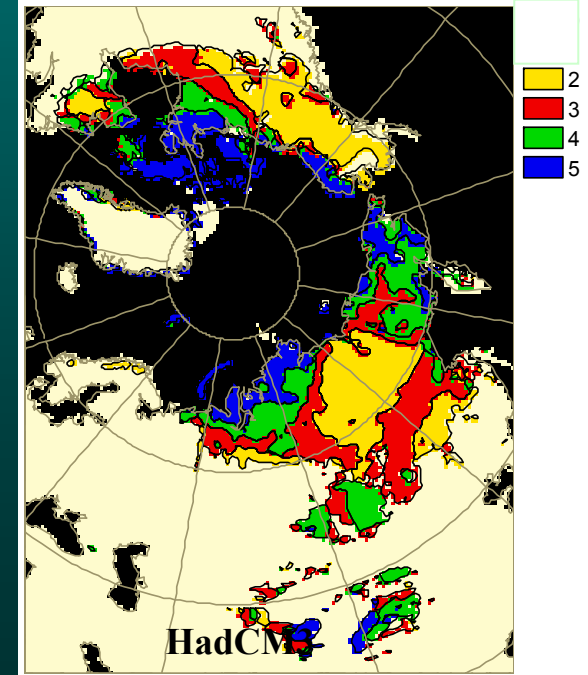
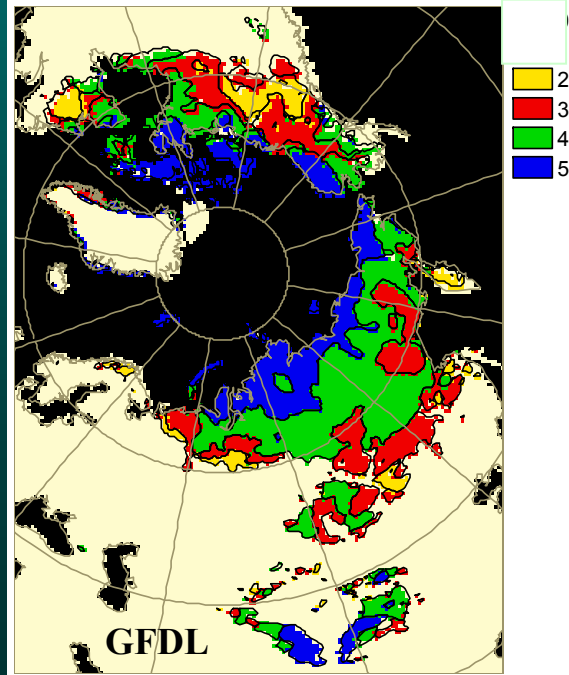
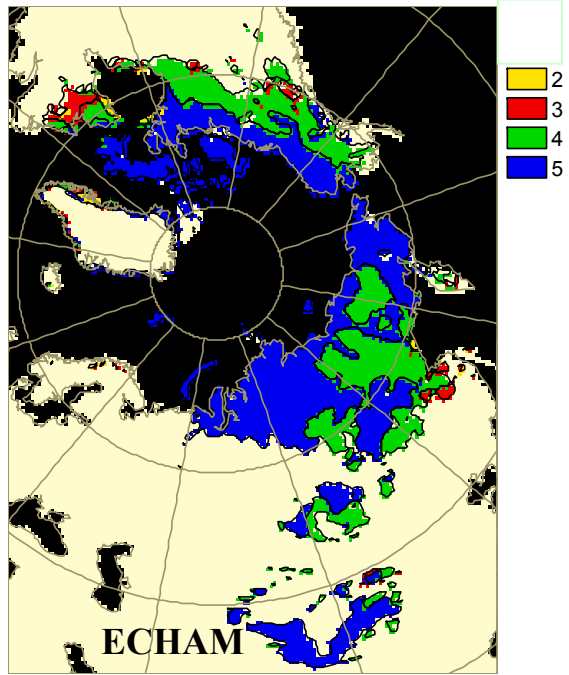
2 – 0% - 20%

3 – 20% - 30%

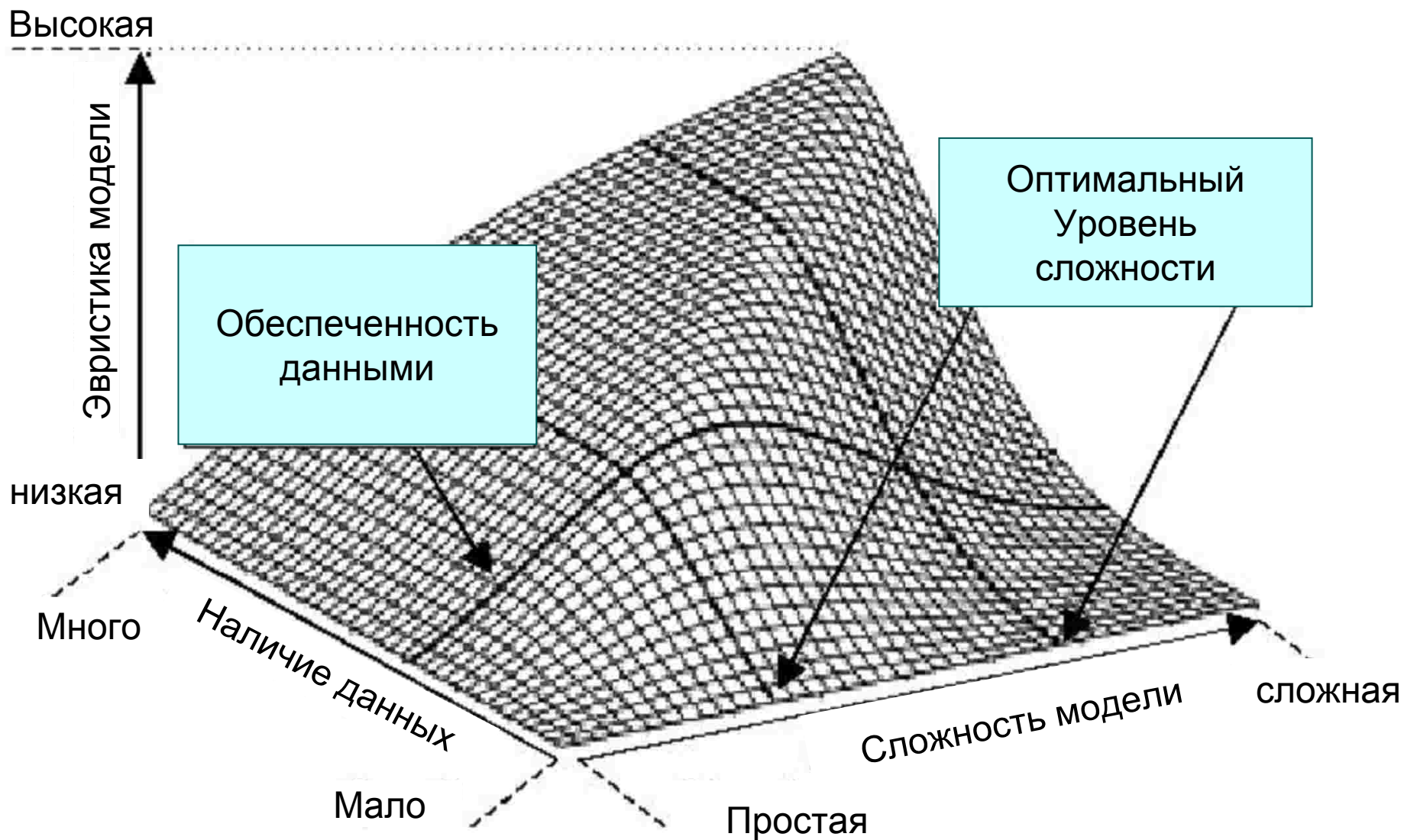
4 – 30%-50%

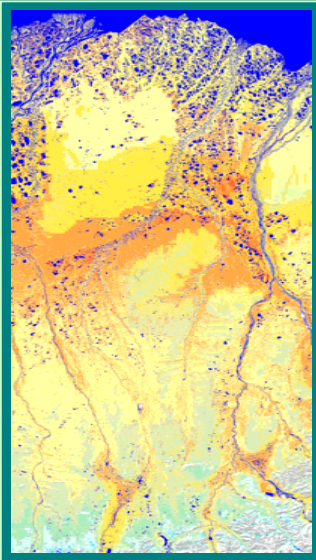
5 – >50%

(Анисимов и Белолуцкая, 2005;
АСИА, 2005)

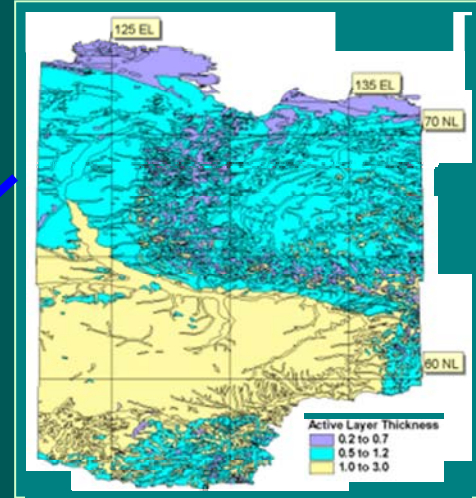
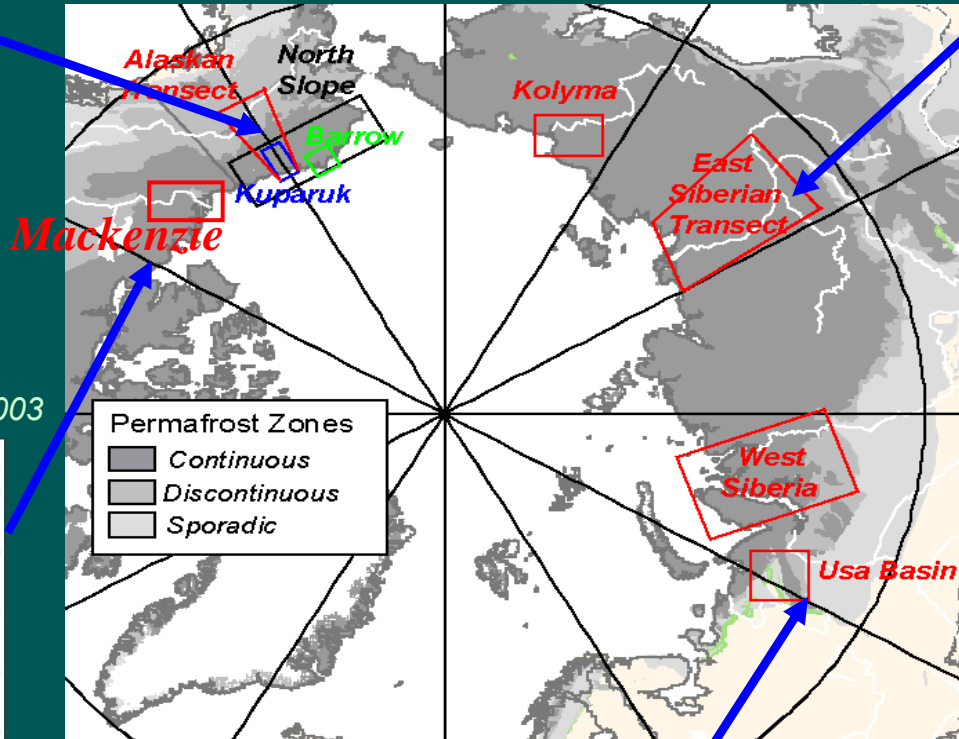


Выбор оптимального уровня сложности модели в зависимости от имеющихся данных

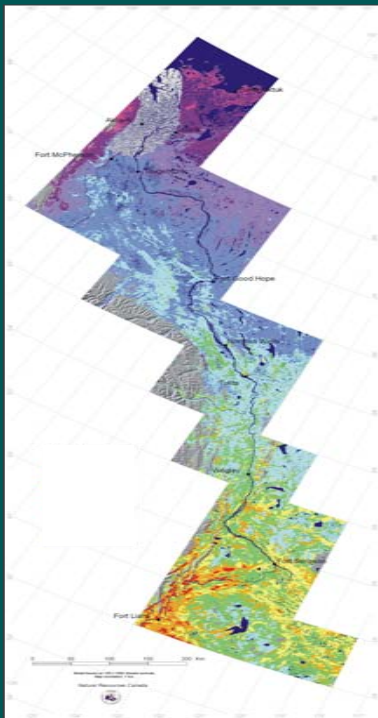




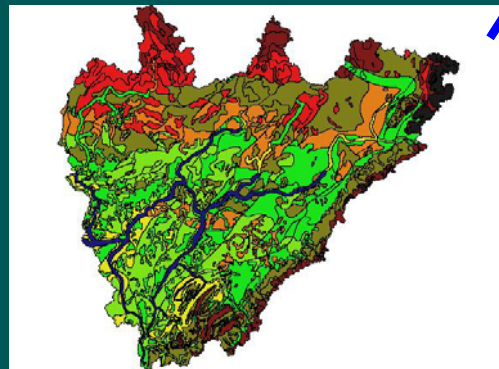
Shiklomanov and Nelson 2003



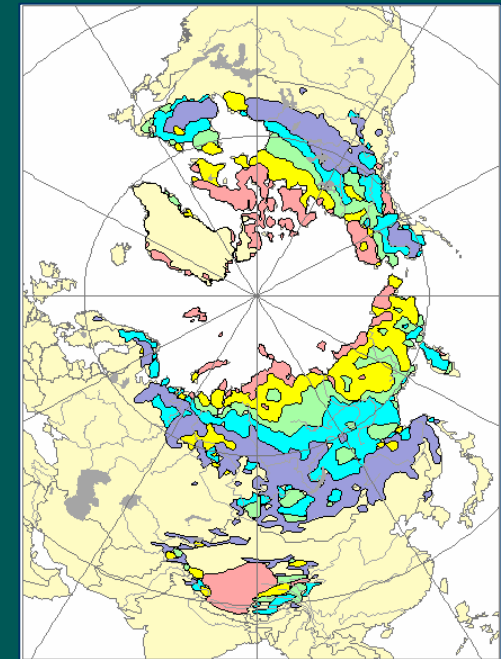
Romanovsky et al., 2003



Duchesne and Wright 2004



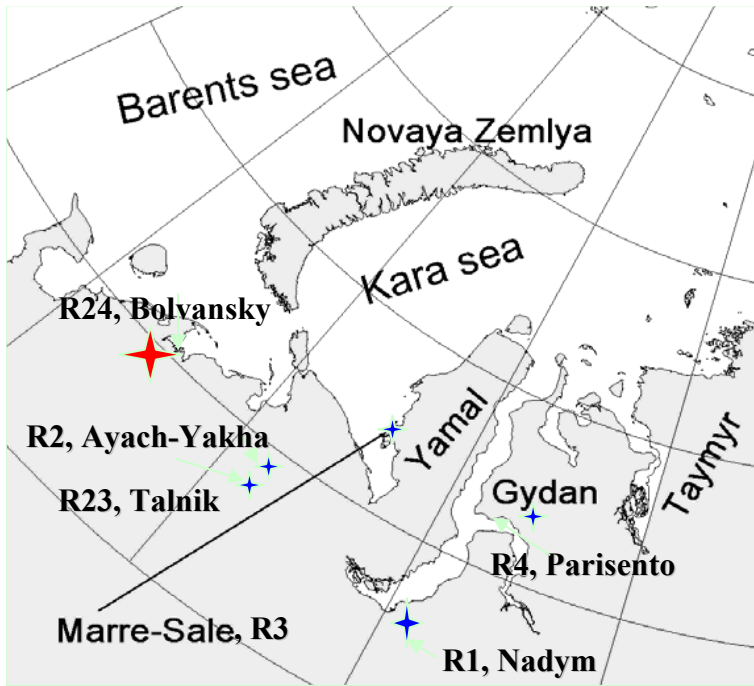
Oberman and Mazhitova 2000



Anisimov et al., 1997, 2005

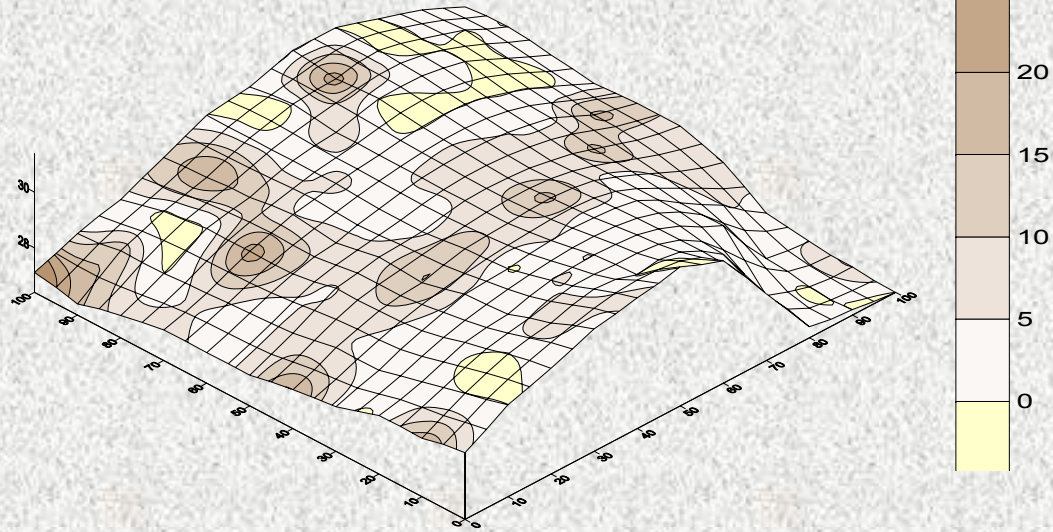
Стохастическая модель сезонного таяния



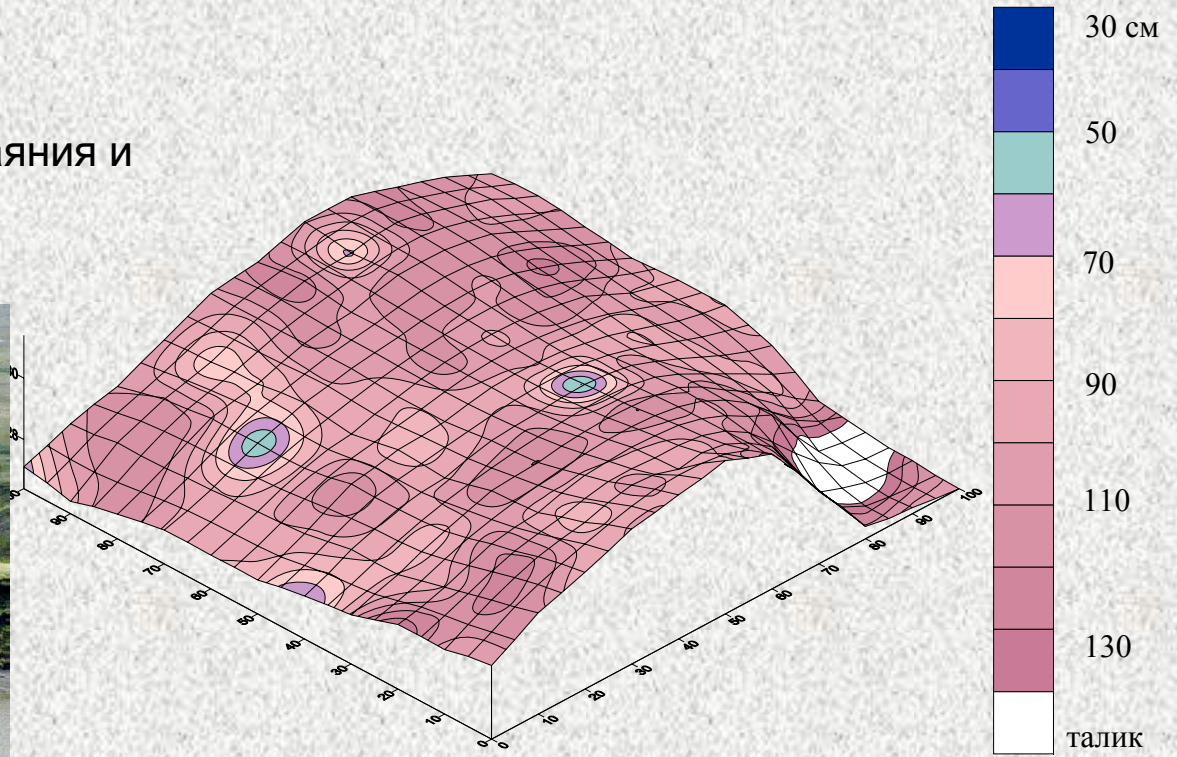


Болванский

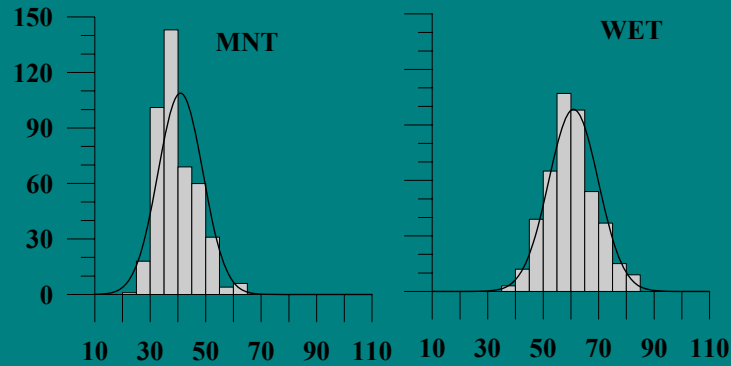
Толщина органического слоя и топография, (м)



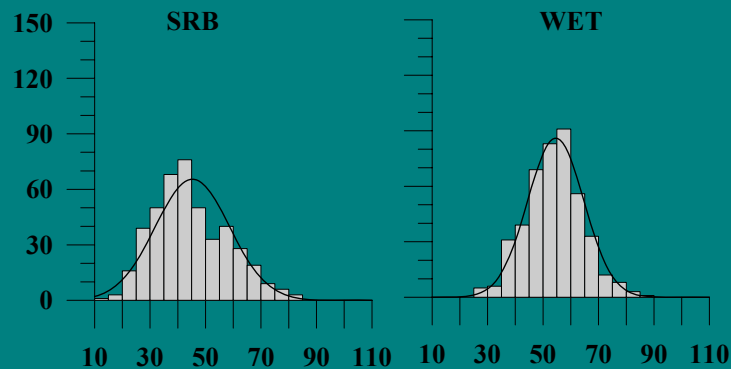
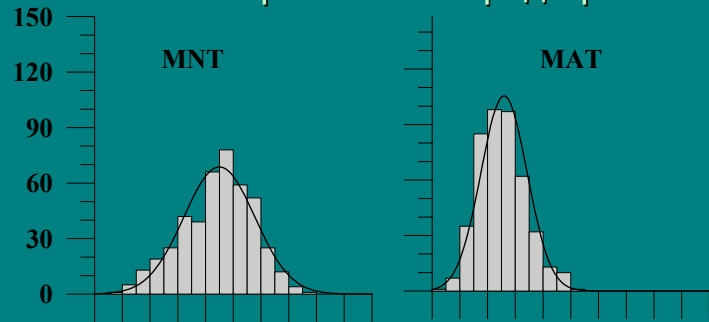
Глубина сезонного таяния и топография (м)



Арктическая низменность



Арктические предгорья



Плотность вероятности глубины таяния, см

Традиционный подход

$$z = E C,$$

$$\text{где } E = [(2n\lambda)/(\rho w L)]^{1/2}, C = DDT^{1/2}$$

Стохастический подход

Переменные представляются в виде суммы среднего значения \bar{f} и случайного отклонения f' :

$$f = \bar{f} + f'$$

Стефаново решение принимает вид:

$$\bar{z} + z' = \bar{E} \bar{C} + E' \bar{C} + \bar{E} C' + E' C'$$

уравнение для среднего:

$$\bar{z} = \bar{E} \bar{C} + \overline{E' C'}$$

уравнение для флуктуации:

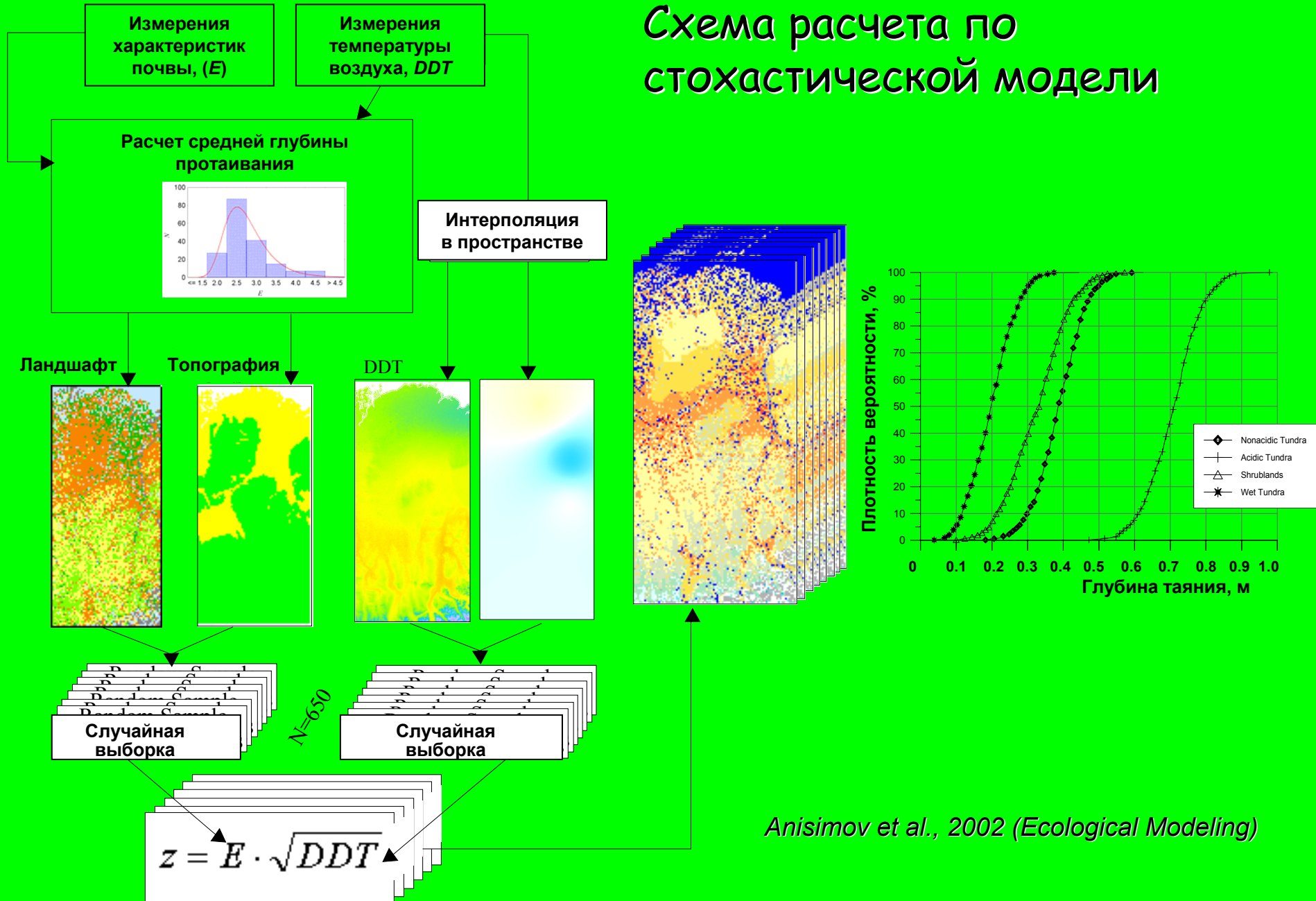
$$z' = E' \bar{C} + \bar{E} C' + E' C' - \overline{E' C'}$$

уравнение для дисперсии:

$$\overline{z'^2} = \overline{E'^2 C^2} + 2\overline{E' C' E C} + \overline{E'^2 C' C} + \overline{E^2 C'^2} + 2\overline{E E' C'^2} + \overline{E'^2 C'^2}$$

Anisimov et al., 2002 (Ecological Modeling)

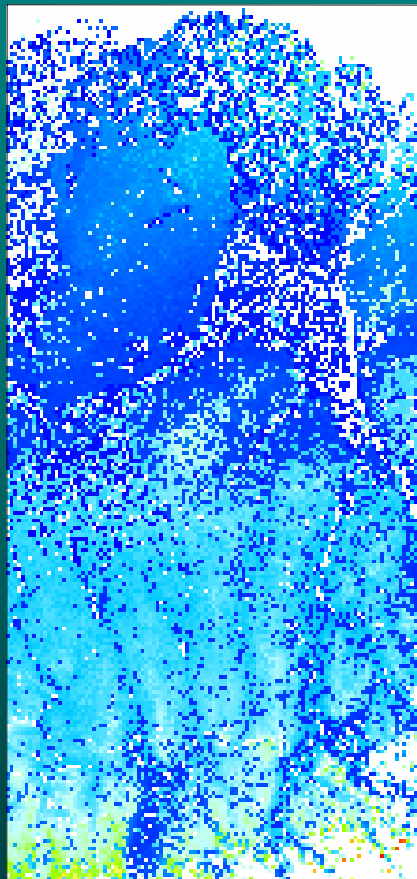
Схема расчета по стохастической модели



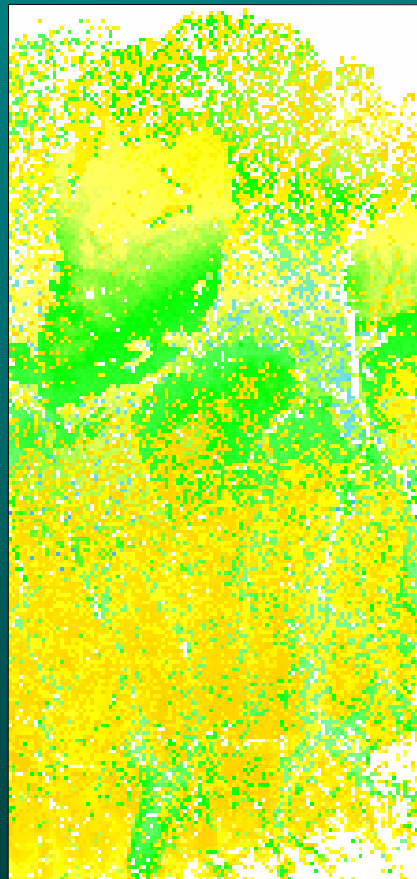
Anisimov et al., 2002 (Ecological Modeling)

Вероятностно-статистические карты сезонного протаивания

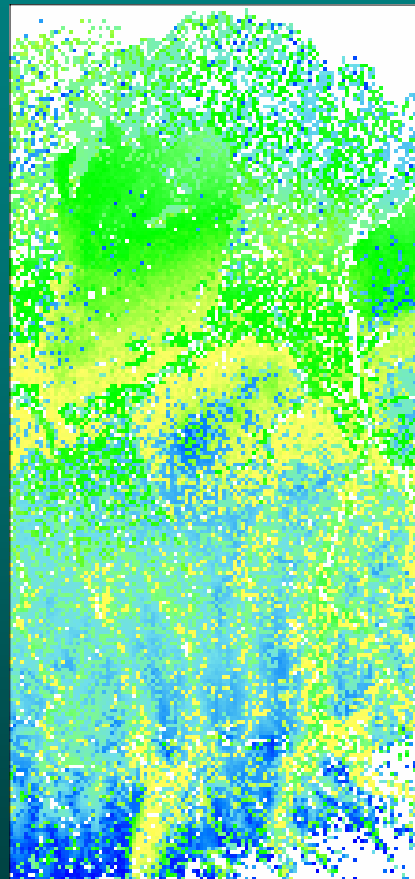
20-40 cm



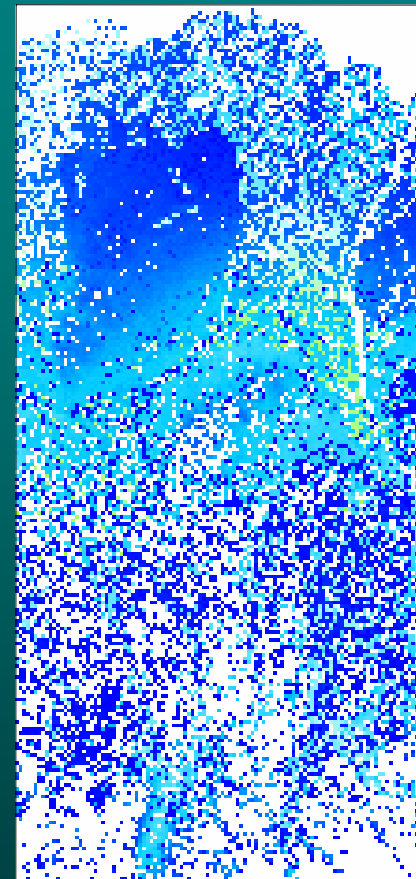
40-60 cm



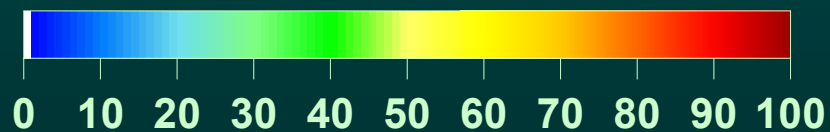
60-80 cm



>80 cm



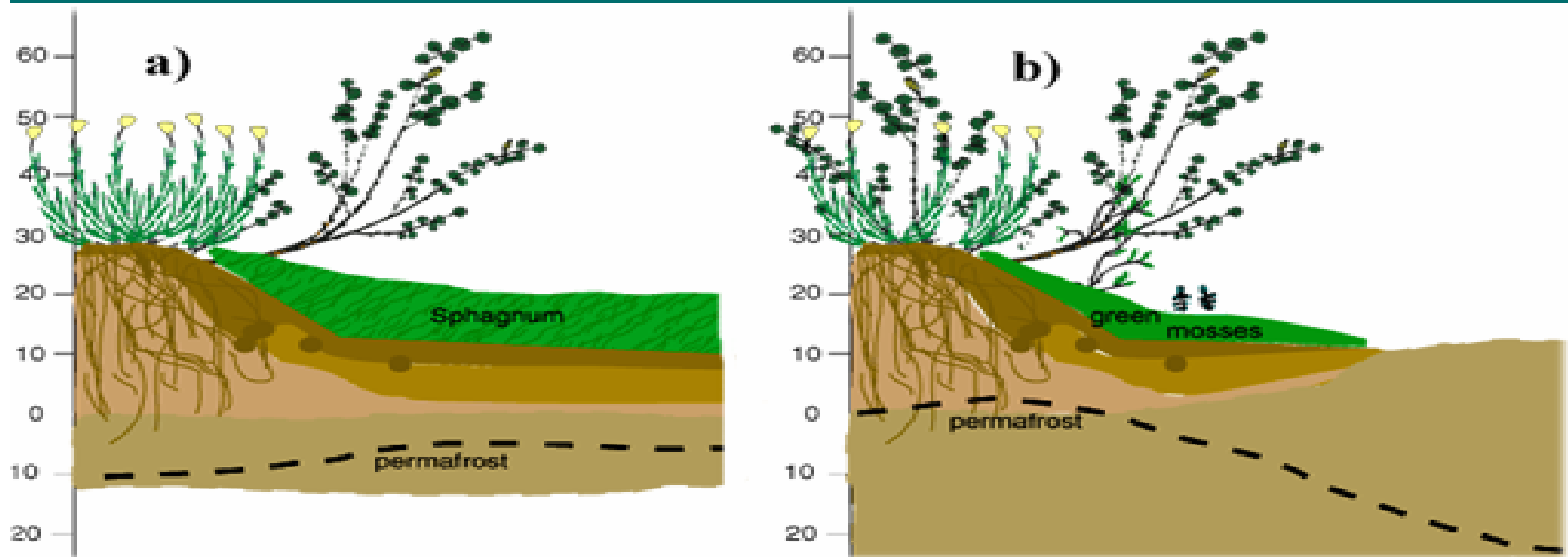
Вероятность (%)



Anisimov et al., 2002 (Ecological Modeling)

Воздействие неклиматических факторов

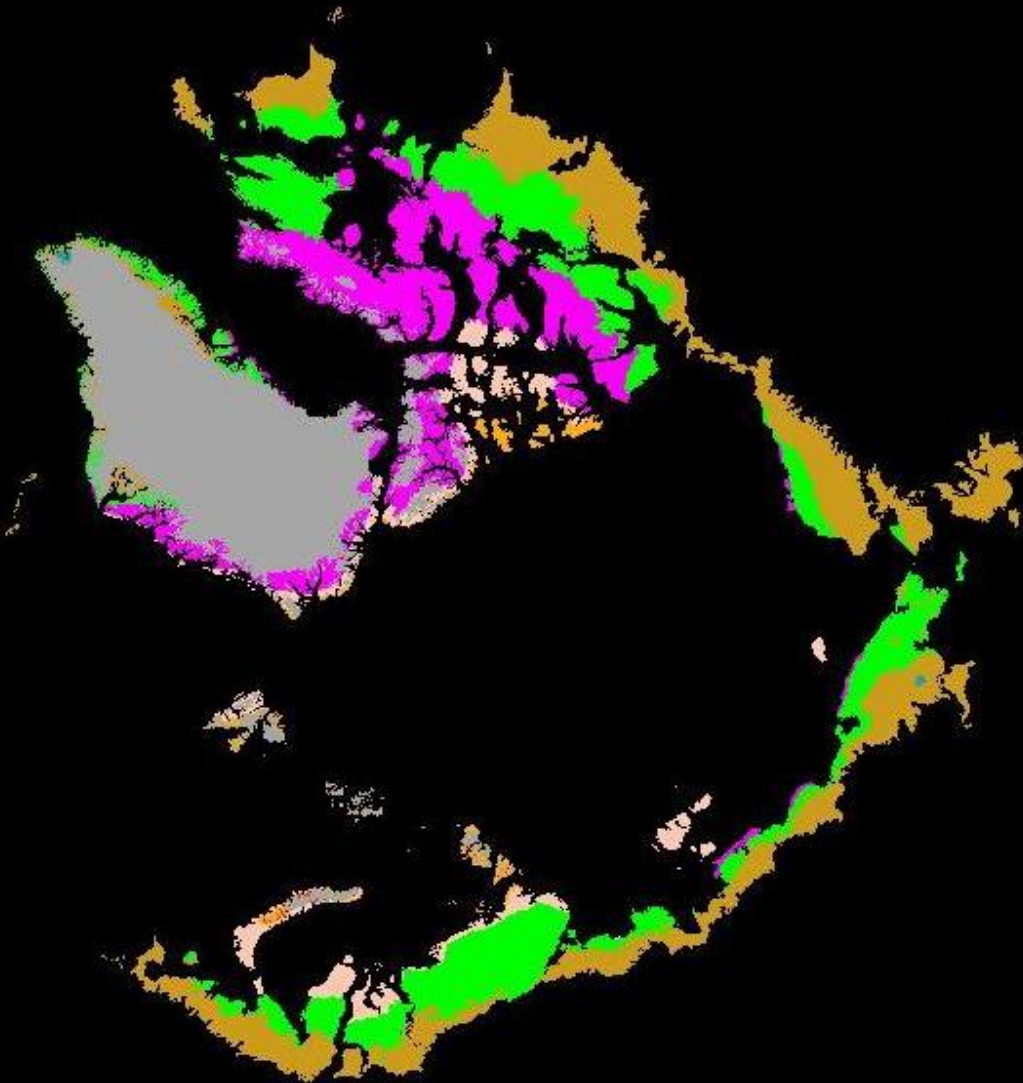
Растительность



Полярная пустыня

Северная тундра

Арктическая растительность



Южная
тундра

Кустарниковая
тундра

Фото В.Разживина

Полярная пустыня



Северная тундра



Южная тундра

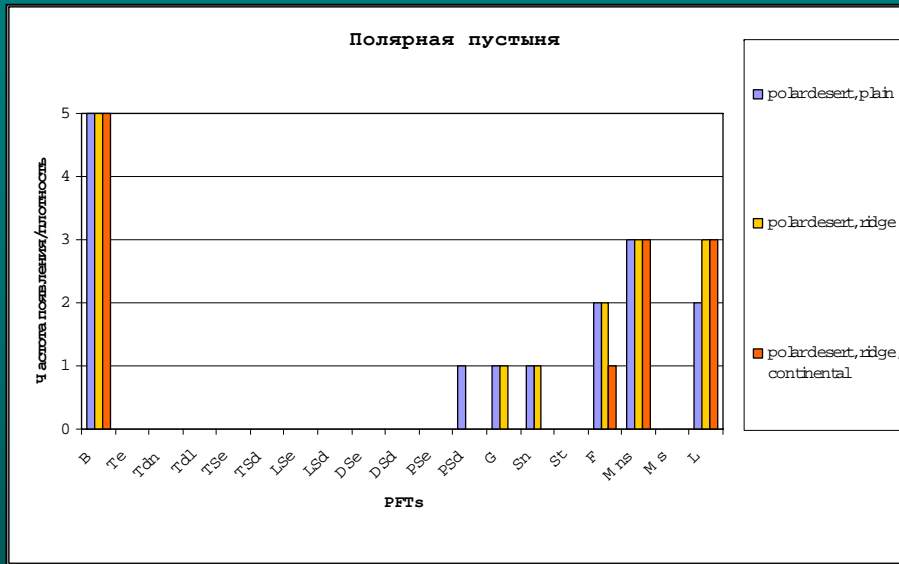


Кустарники

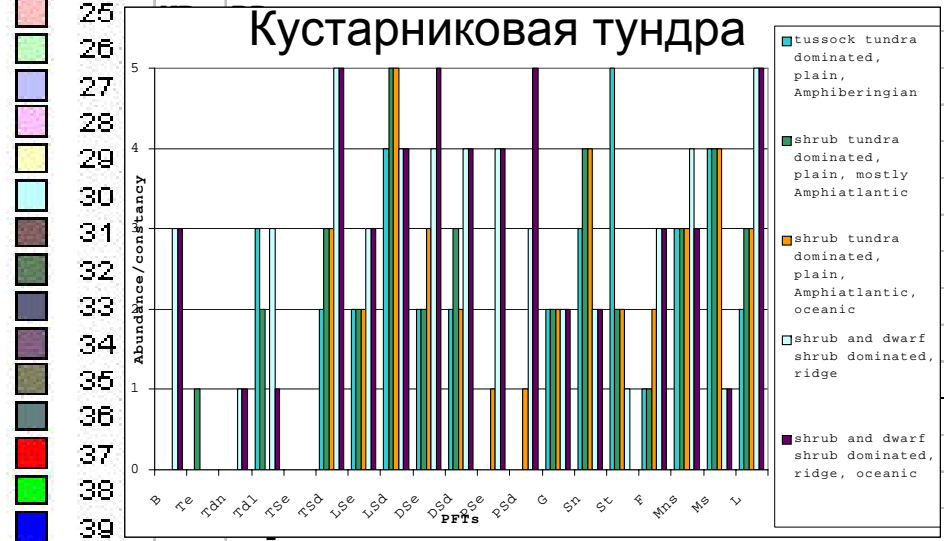
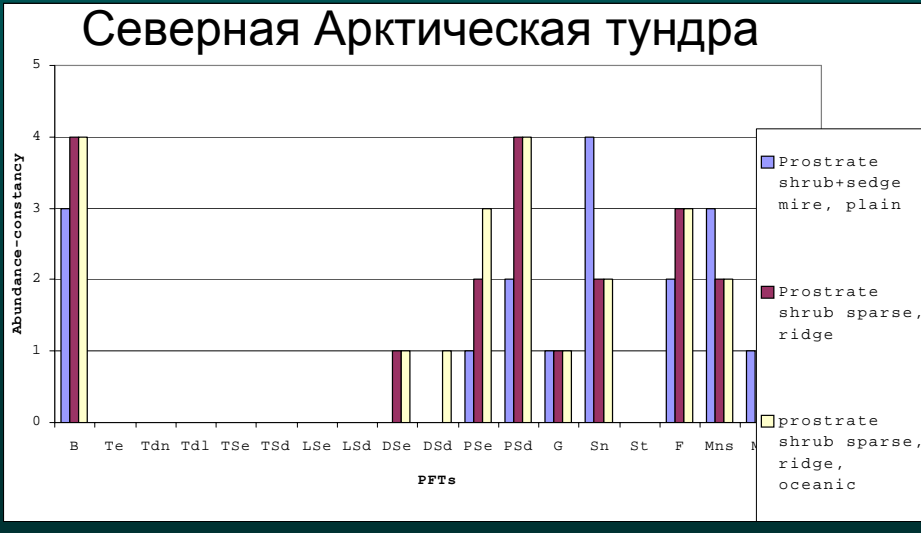


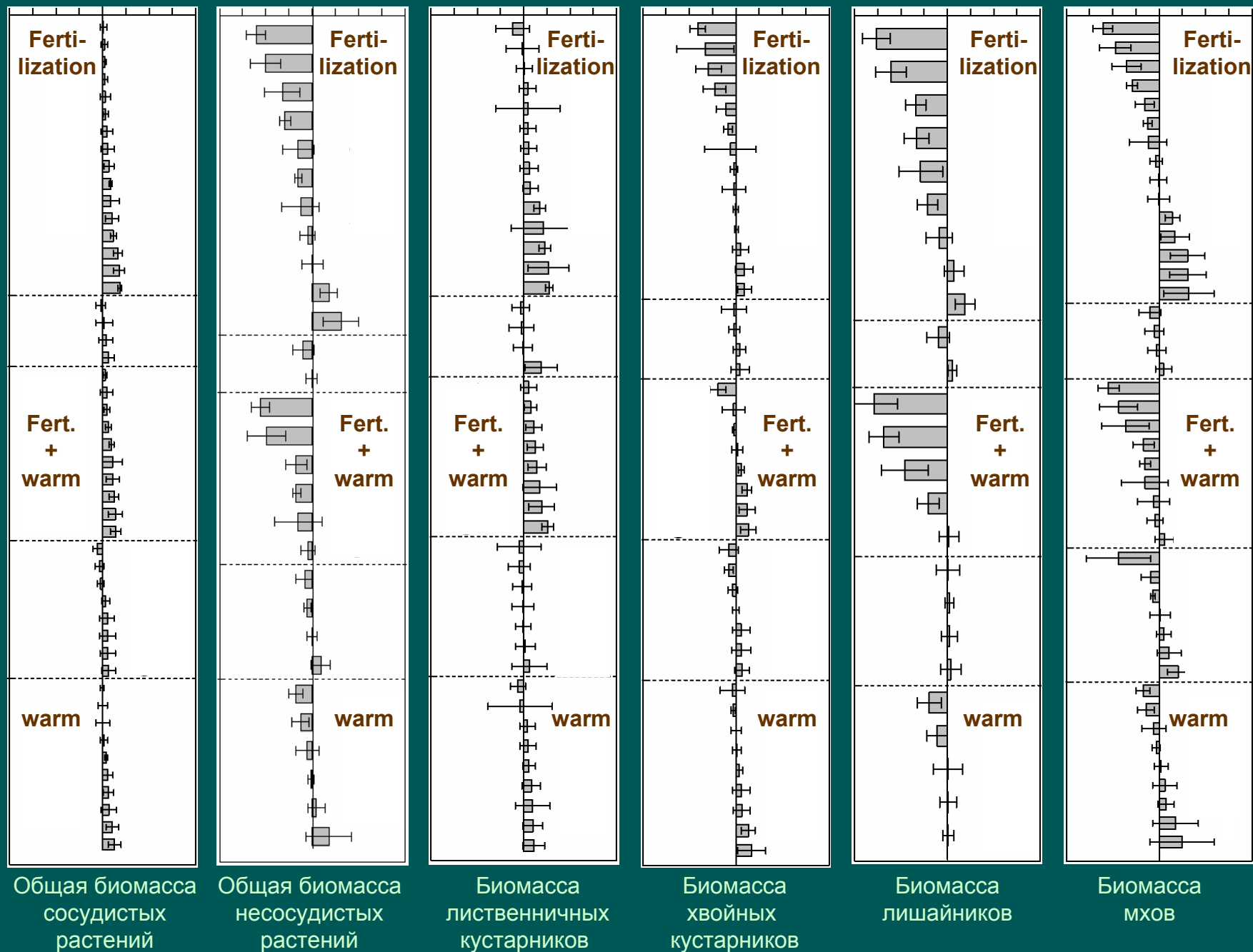


1	PD		polar desert
2	PD	R	polar desert
3	PD	Rc	polar desert
4	NAT	P	northern arctic tundra
5	NAT	R	North Arctic Dwarf Shrub (prostrate dwarf shrub)
6	NAT	Ro	dwarf shrub)
7	MAT	P	middle arctic tundra
8	MAT	R	Middle Arctic Dwarf Shrub (hemiprostrate dwarf shrub subzone)
9	MAT	Ro	(hemiprostrate dwarf shrub subzone)
10	SAT	P	south arctic tundra
11	SAT	Po	South Arctic Dwarf Shrub (erect dwarf shrub subzone)
12	SAT	PA	shrub subzone)
13	SAT	PAo	
14	SAT	R	
15	SAT	Ro	
16	AST	PA	arctic shrub tundra
17	AST	P	
18	AST	Po	Arctic Shrub (low shrub subzone)
19	AST	R	
20	AST	Ro	
21	STL	P	stlanik
22	STL	R	Arctic Stlanik (tall shrub subzone)
23	NB	LP	north boreal forest
24	NB	LPo	



(В.Разживин и др., 2002; S.Walker et al., 2005,2006)





Изменения растительности при потеплении и влияние на вечную мерзлоту

1. В полярной пустыне и частично в северной тундре - увеличение биомассы и сомкнутости мохово-лишайникового слоя.
2. В биомах средней и южной тундры - уменьшение доли мохово-лишайниковой растительности и увеличение травяной и кустарниковой.
3. Увеличение доли сосудистых растений усиливает транспирацию и уменьшает влажность почвы в летний период.
4. Развитие кустарниковой растительности препятствует выдуванию снега.

(Анисимов и Белопуцкая, 2004)

Расчет изменения глубины сезонного протаивания с учетом изменений растительного покрова

Климатический сценарий ССС

Последовательное 11-ти летнее осреднение, 2010 – 2080гг.

Левая панель – расчет с учетом изменения растительности

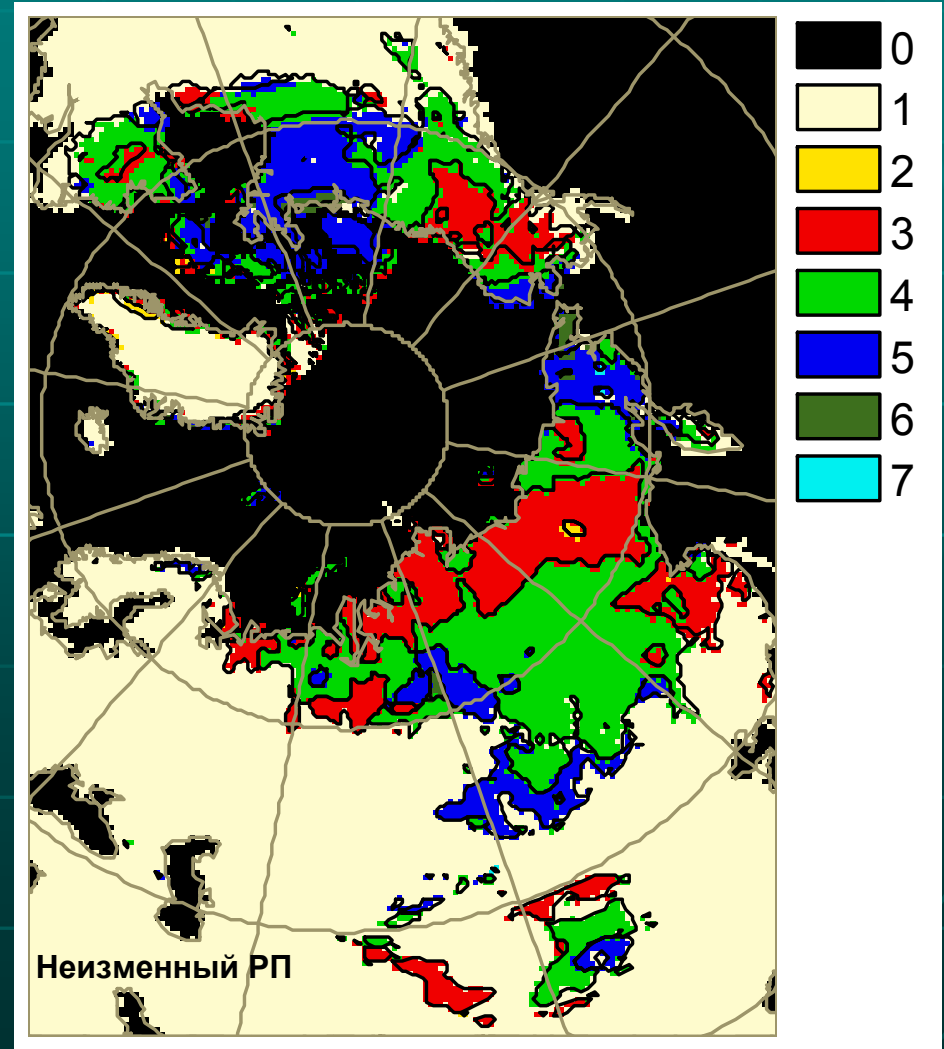
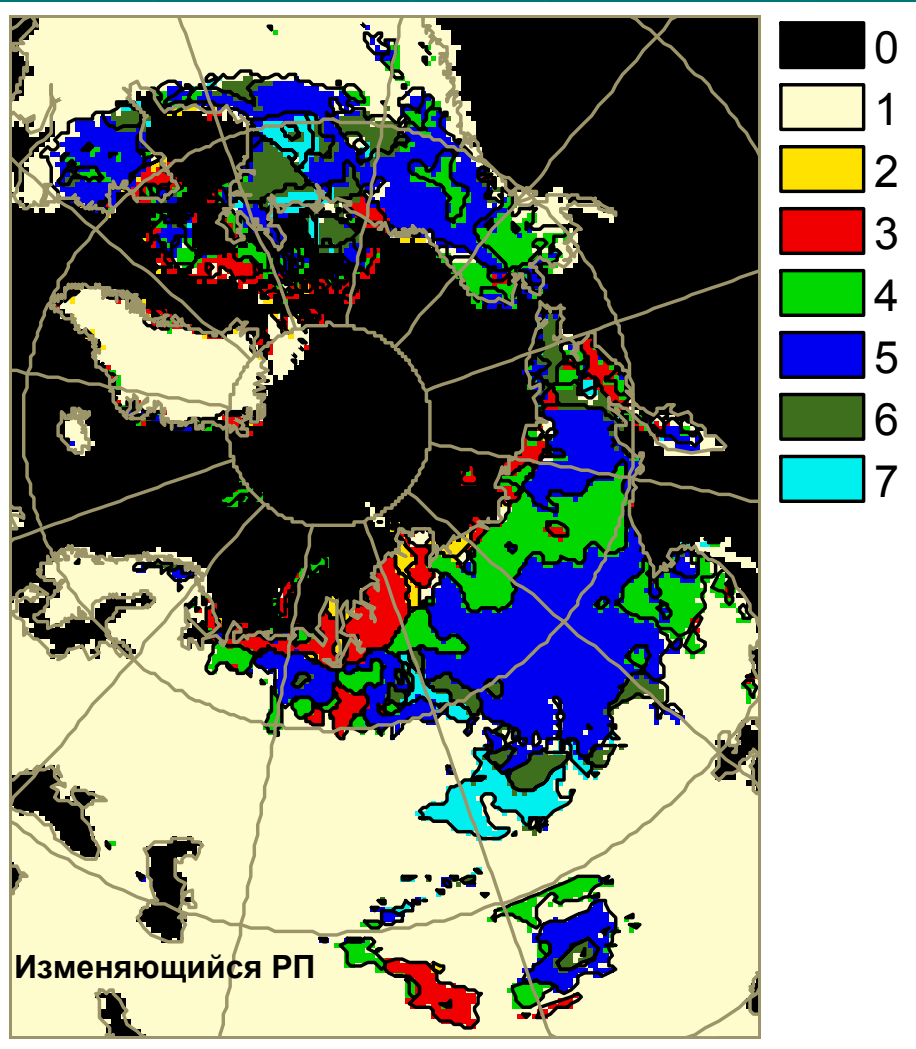
Правая панель – расчет в предположении о неизменности растительности

(Анисимов и Белопуцкая, 2004)

2020-2030



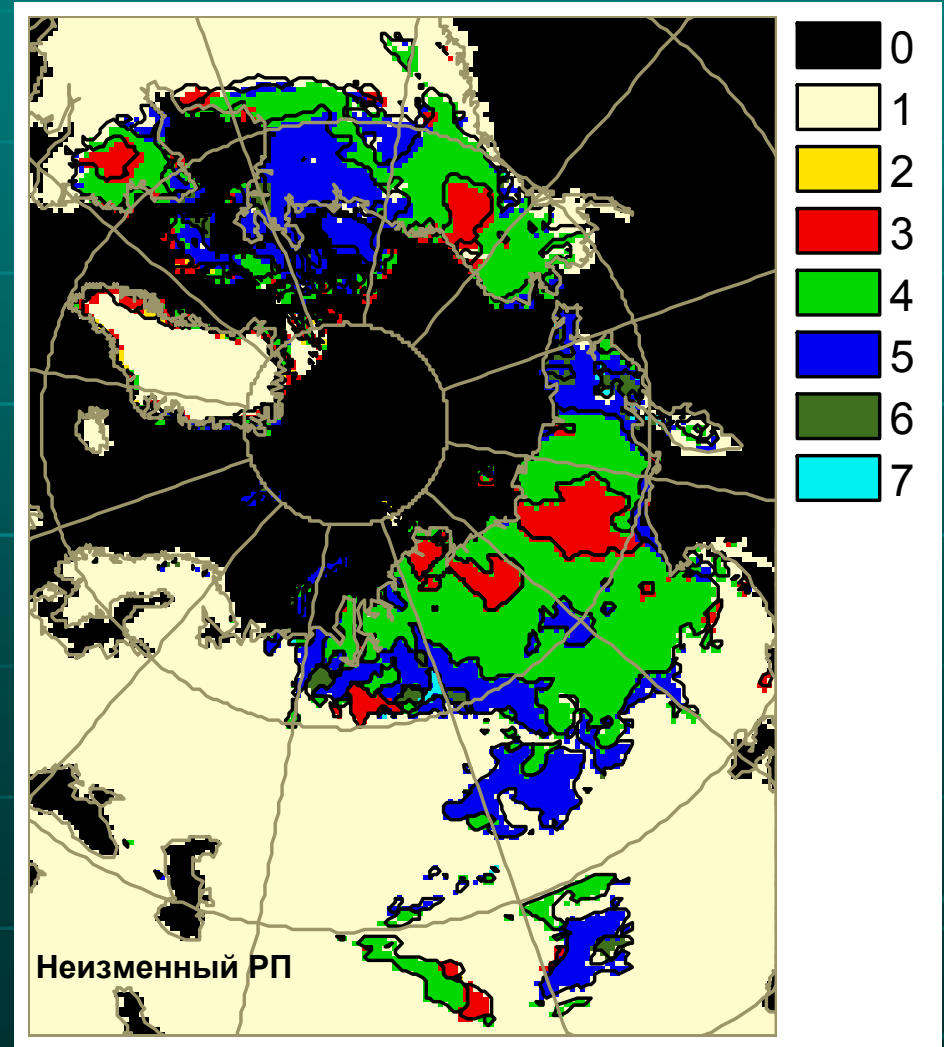
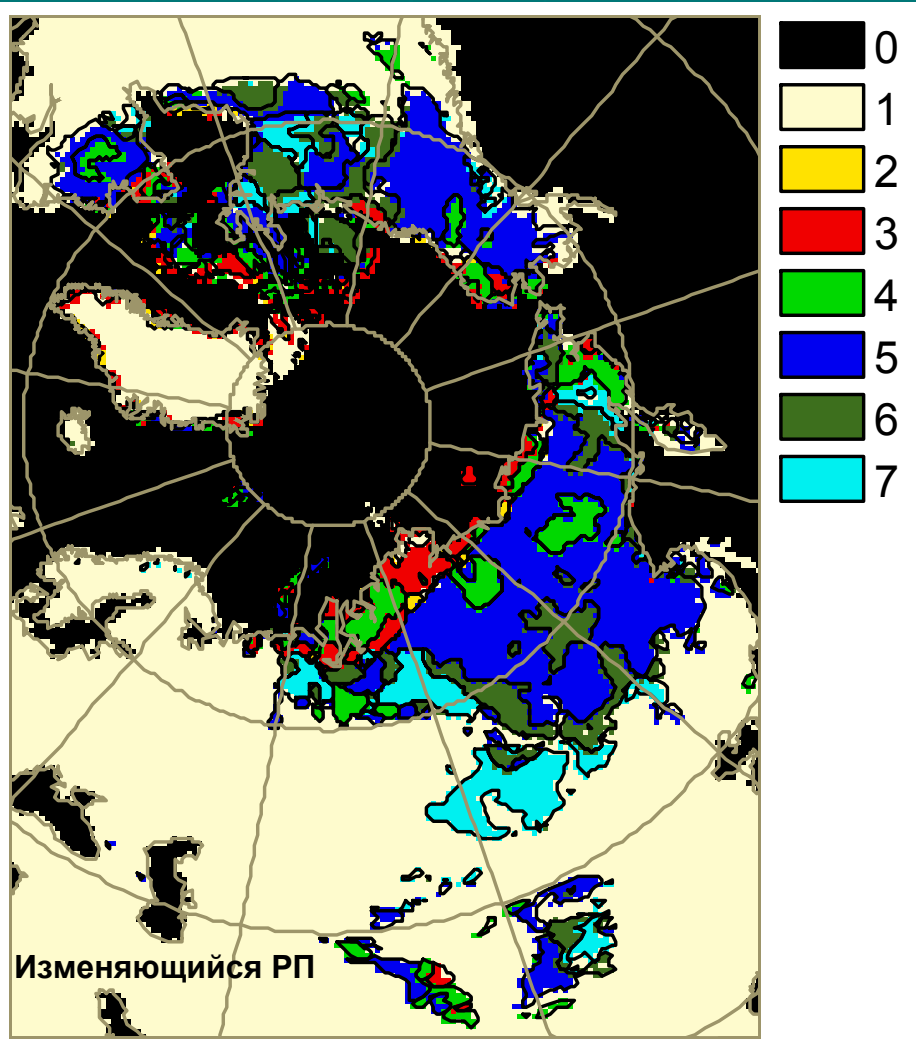
(Анисимов и Белолуцкая, 2004)



2040-2050



(Анисимов и Белолуцкая, 2004)



Влияние таяния вечной мерзлоты на инфраструктуру

Город	Здания в опасном состоянии
Норильск	10%
Тикси	22%
Дудинка	55%
Диксон	35%
Певек, Амдерма	50%
Чита	60%
Воркута	80%

(Анисимов и Белолуцкая, 2002)



П. Черский, июнь 2002 г.
Фото В. Романовского



Якутск, июль 2006 г.

ΔT_s	Уменьшение несущей способности фундаментов, %	
	домов	Опор трубопроводов
0.5	5	10
1.0	15	20
1.5	20	30
2.0	50	60

(Хрусталеv, 2005)



Ландшафтные изменения:

Заболачивание (*Tanana Flats, northern Alaska*)

Образование степного ландшафта после лесного пожара (*Центральная Якутия*)

Береговая эрозия (*Дуваный Яр, Колыма*)

Фото В. Романовского

Индекс геокриологической опасности

$$I_g = k \cdot (1+S) \cdot (z_2 - z_1) \cdot C_w / z_1$$

Z_i – максимальная глубина сезонного протаивания для современного (индекс 1) и прогнозируемого на будущее (индекс 2) климата,

C_w - объемное содержание льда в грунте,

S - соленость грунта,

K - постоянный нормирующий коэффициент.

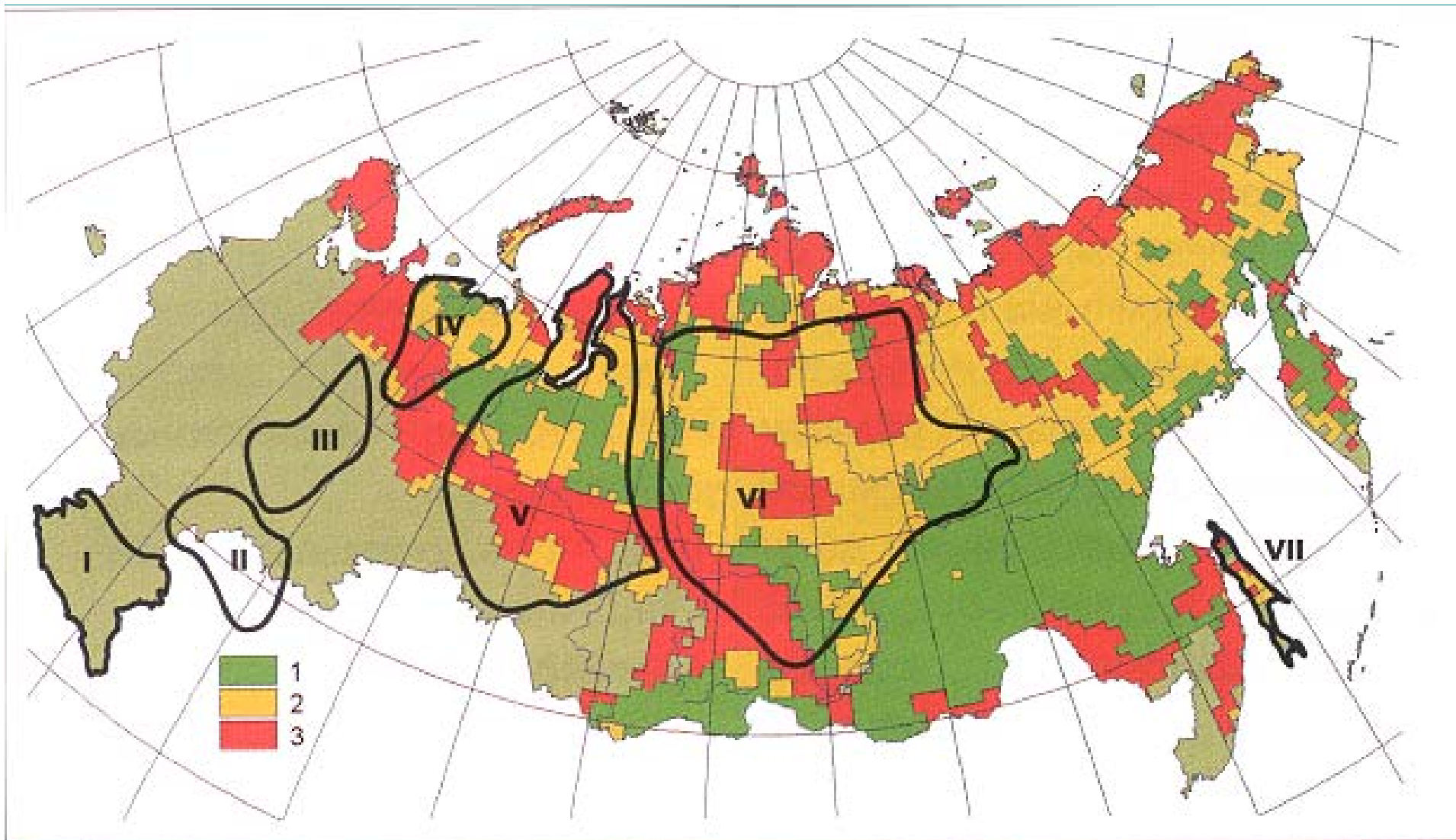
Анисимов и Белолуцкая, 2002 (Метеорология и гидрология);

Анисимов и Лавров, 2004 (Технологии ТЭК);

Nelson, Anisimov, Shiklomanov, 2001 (Nature);

Nelson, Anisimov, Shiklomanov, 2002 (Environmental Hazards);

ACIA, 2005



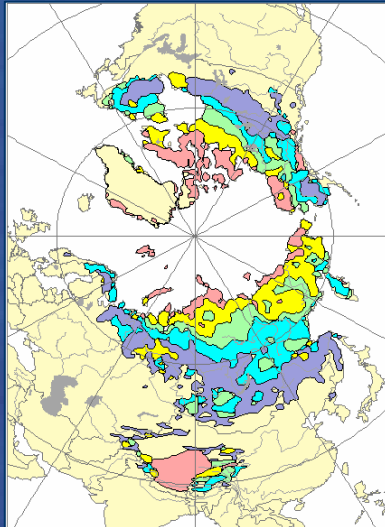
Районы низкого (1), умеренного (2) и высокого (3) риска повреждения сооружений, построенных на вечной мерзлоте. В расчете использован климатический сценарий модели GFDL для середины 21 века. Контуры на карте показывают основные нефтегазоносные провинции с развитой инженерной инфраструктурой.

(Анисимов и Лавров, 2004)

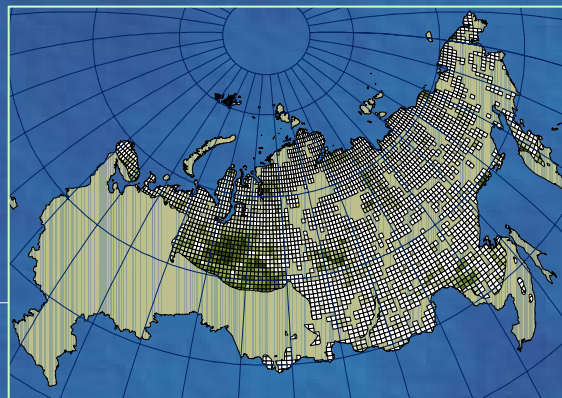
Воздействие на глобальный климат через эмиссию парниковых газов.

Анисимов и др. 2005, 2006

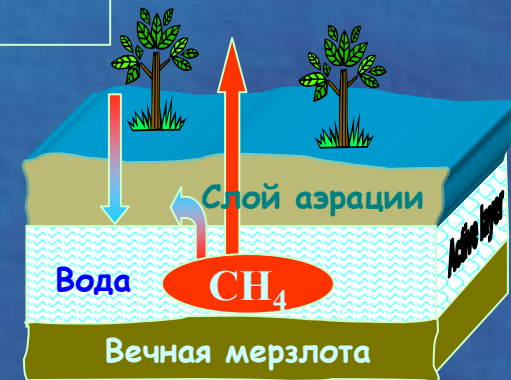
Модель сезонного таяния



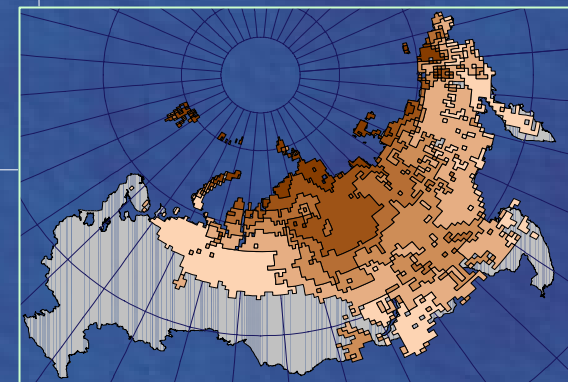
Площадь болот



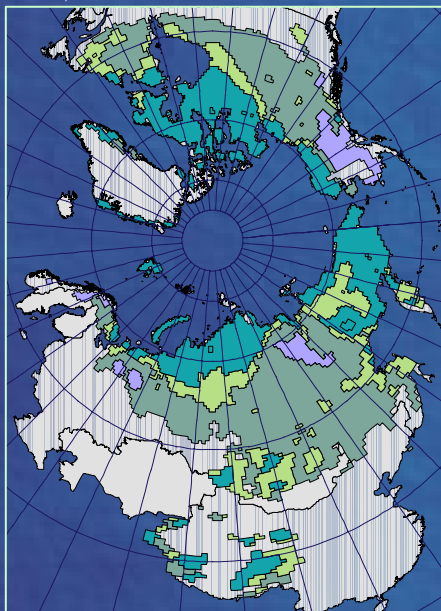
Модель
продукции
метана



Эмиссия метана



Расчет объема талого торфа



Потоки метана в атмосферу, млн. Т/год.

Анисимов и др. 2005, 2006



Сибирские болота угрожают планете выбросом метана

Миллион квадратных километров замерзших болот Западной Сибири тае и угрожает планете гигантским выбросом метана - газа, способствующего глобальному потеплению. Таков вывод российско-британского исследования, результаты опубликованы в чет сайентист".

В субарктическом районе Западной Сибири, равном по площади Германии и Франции вместе взятым, находятся крупнейшие в мире замерзшие болота. Метан в болотах скапливался на протяжении тысяч лет, но до недавнего времени был заперт мощным панцирем льда на поверхности.

«Гигантский выброс» = 6-8 Мт/год;

Время жизни в атмосфере – 12 лет;

Увеличение CH₄ в равновесии + 100Мт, или же около 0.04 ppm;

1 ppm CH₄ дает около 0.3 °С;

Таяние Сибирских болот даст около 0.012 °С.

▶ Глава МИД Швеции ушла из-за карикатур

▶ Французов призывают к забастовке

RSS | [Что такое RSS?](#)



Основные web-порталы по проблеме вечной мерзлоты

1. Описание основных проектов по вечной мерзлоте и сезонно-промерзающим грунтам и банк данных
<http://nsidc.org/fgdc>
2. Данные циркумполярного мониторинга вечной мерзлоты
www.udel.edu/Geography/calm
3. Данные изучения шельфовой (субаквальной) вечной мерзлоты
www.awi-potsdam.de/acd/