



Российская Академия Наук



**ИНСТИТУТ ГЕОЭКОЛОГИИ
ИМ. Е. М. СЕРГЕЕВА РАН (ИГЭ РАН)**

**ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПОЛОЖЕНИЯ И РАЗМЕРОВ ТЕРМОКАРСТОВЫХ ОЗЕР С
ПОМОЩЬЮ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ И МЕТОДОВ
МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОРФОЛОГИИ ЛАНДШАФТА**

Капралова В.Н.,

vkapralova@gmail.com



Математическая модель морфологической структуры базируется на ряде предположений и имеет вид совокупности выражений, описывающих поведение основных количественных характеристик рисунка, образованного экзогенным процессом на земной поверхности.

Основные предположения модели

- Процесс образования новых термокарстовых понижений шел независимо и одновременно; на разных участках, вероятность возникновения понижения зависит от размера площадки,



- Рост озер происходит независимо на непересекающихся отрезках времени, независимо от других озер; приращение размеров озер за фиксированный отрезок времени подвержено действию случайных факторов, но при этом пропорционально существующим размерам озера.
 - Вероятностное распределение числа термокарстовых озер (процесс Пуассона)

$$P(k) = \frac{(\gamma s)^k}{k!} e^{-\gamma s}$$

где γ - среднее число понижений на единице площади; s – размер пробной площадки

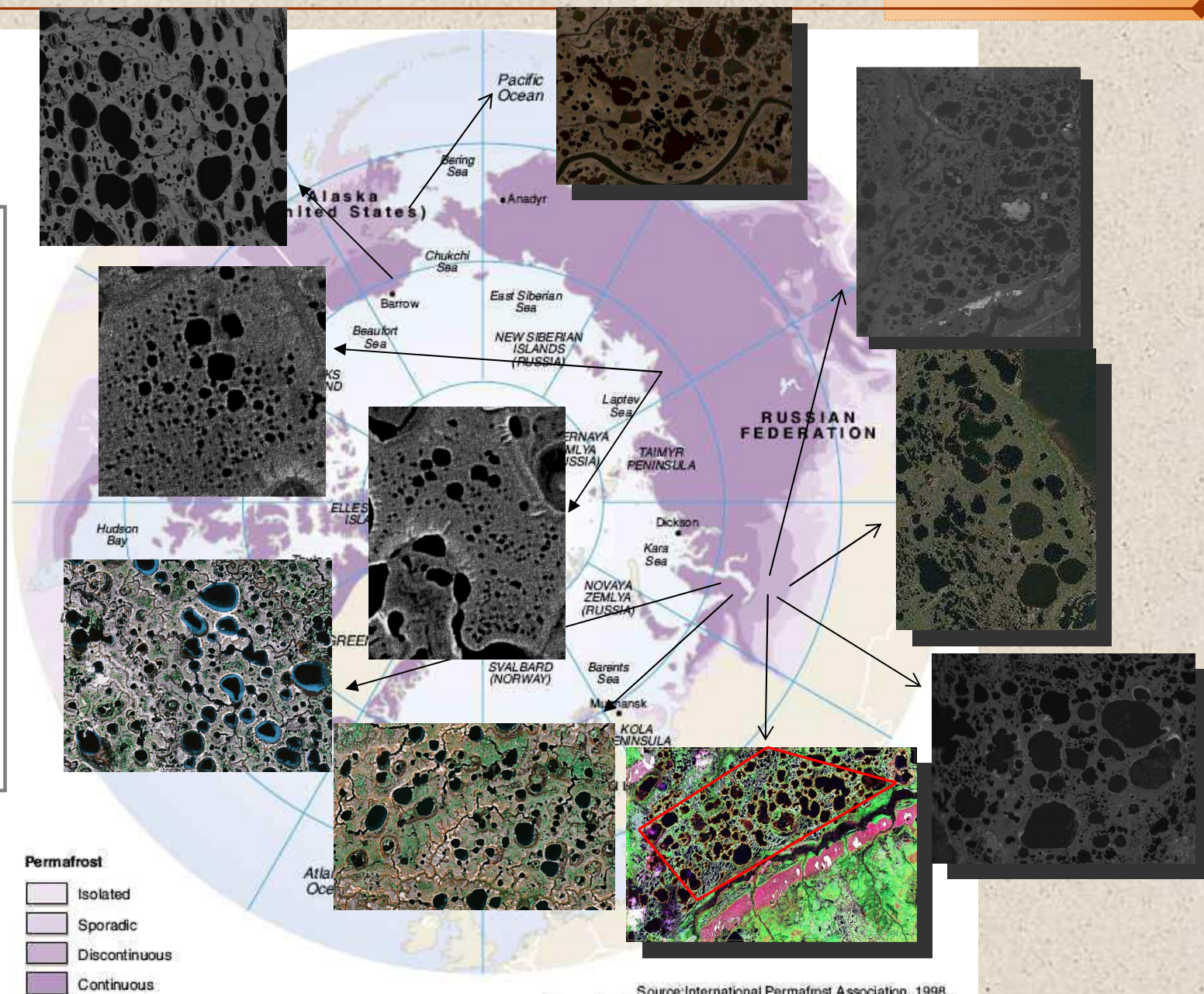
- Вероятностное распределение изменения диаметров термокарстовых озер

$$f_r(x, t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma x\sqrt{t}}} e^{-\frac{(\ln x - \alpha t)^2}{2\sigma^2 t}}$$

где α , σ – параметры распределения, t – возраст озера

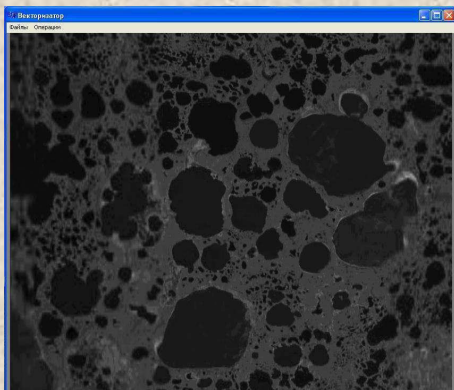
Критерии:

- морфологическая однородность участка и наличие данных дистанционного зондирования на данную область,
- участки должны быть однообразны как по микроструктуре и фототону фона, так и по расположению и форме озер.

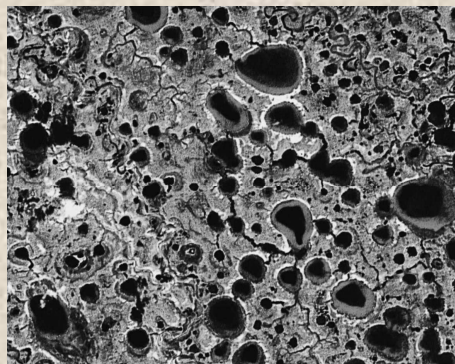


Source: International Permafrost Association, 1998.
Circumpolar Active-Layer Permafrost System (CAPS), version 1.0.

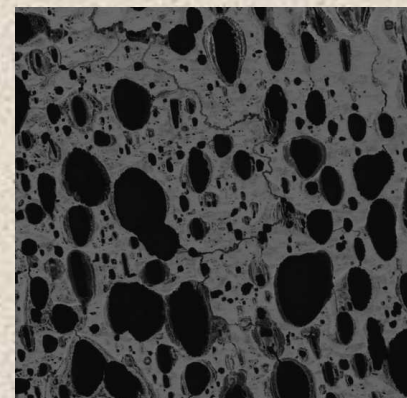
Закономерности пространственного строения морфологических структур



Участок 1



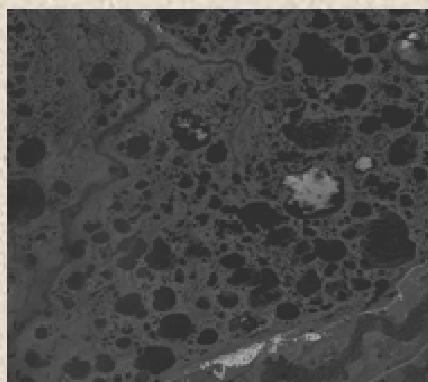
Участок 9



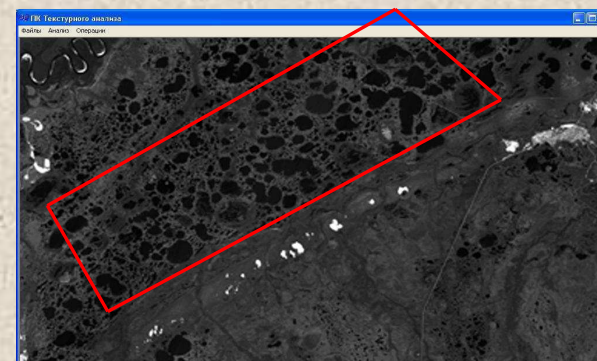
Участок 11



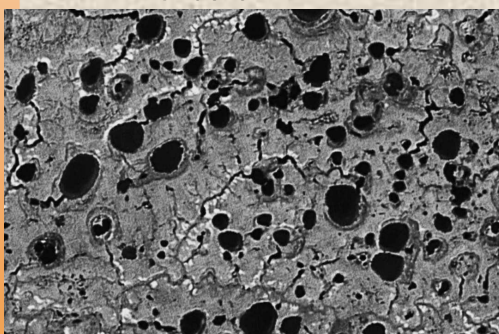
Участок 2



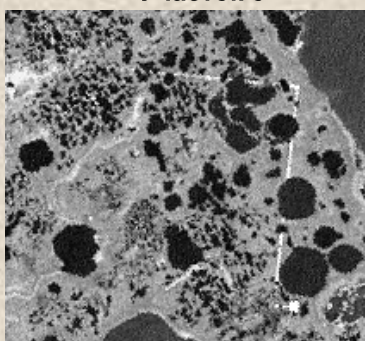
Участок 5



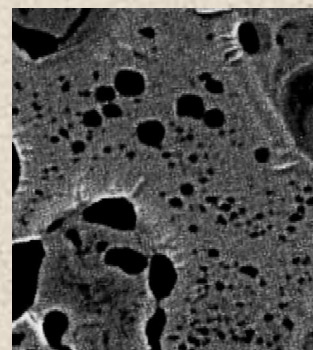
Участок 3



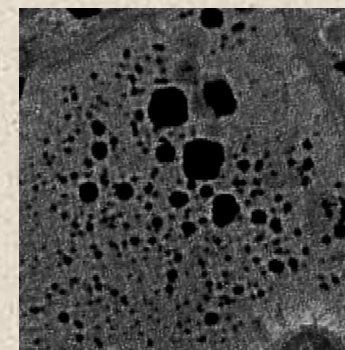
Участок 10



Участок 4



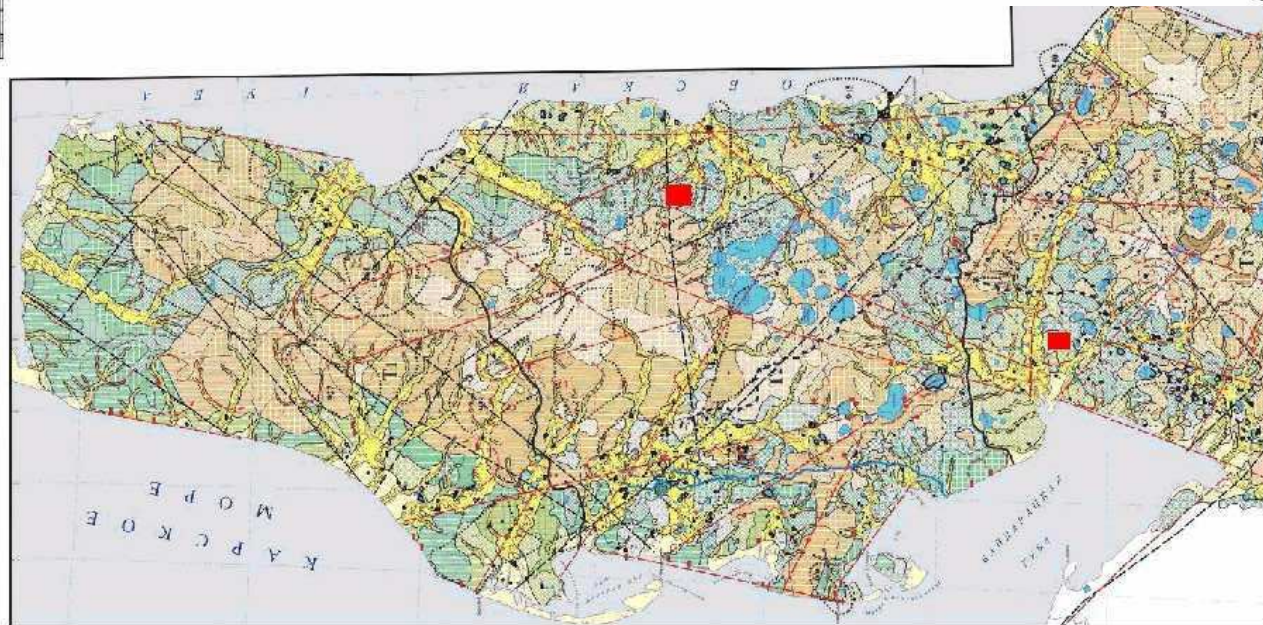
Участок 6



Участок 7

КАРТА ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКОГО РАЙОНИРОВАНИЯ I

Масштаб 1:600 000
ИЗДАНИЕ 1984 г.

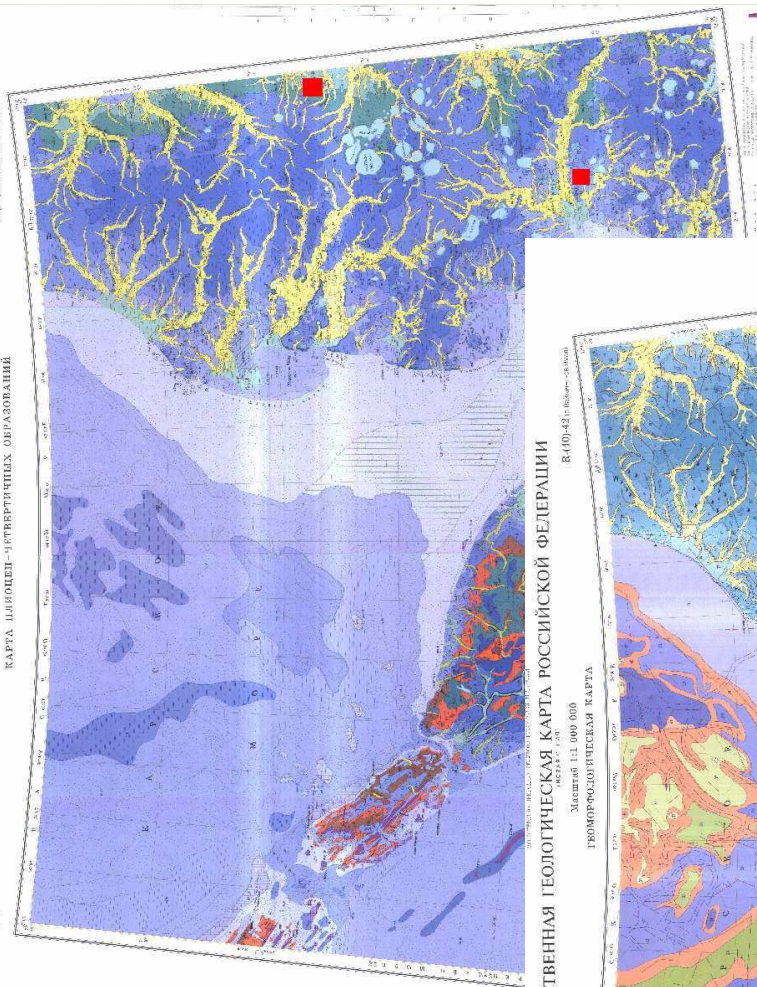


- УСЛОВИЯ**
1. Геохронологические районы
эпохы. Периоды
в 25 000 лет
 2. Геоморфологические пояса
(геоморфологические уровни)
 3. Геокриологические участки
и подучастки
- типы и подтипы мерзлых гал
(по классификации IV уровня)

КАРСКОЕ МОРЕ
ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКАЯ КАРТА

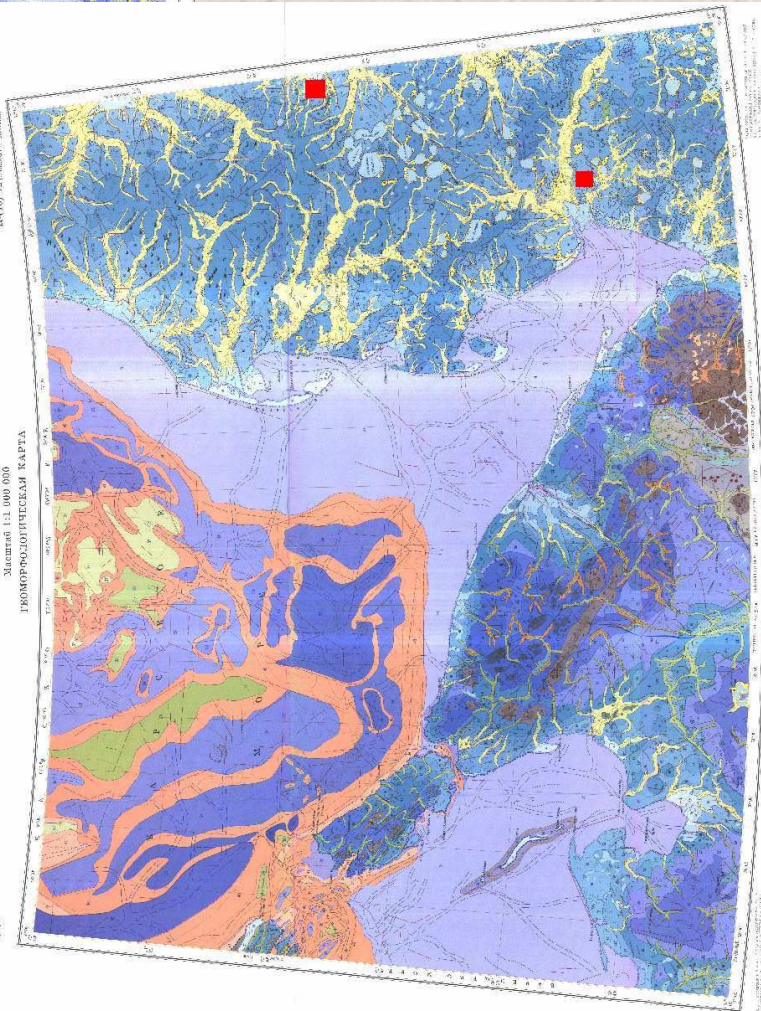
ГОСУДАРСТВЕННАЯ ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ КАРТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

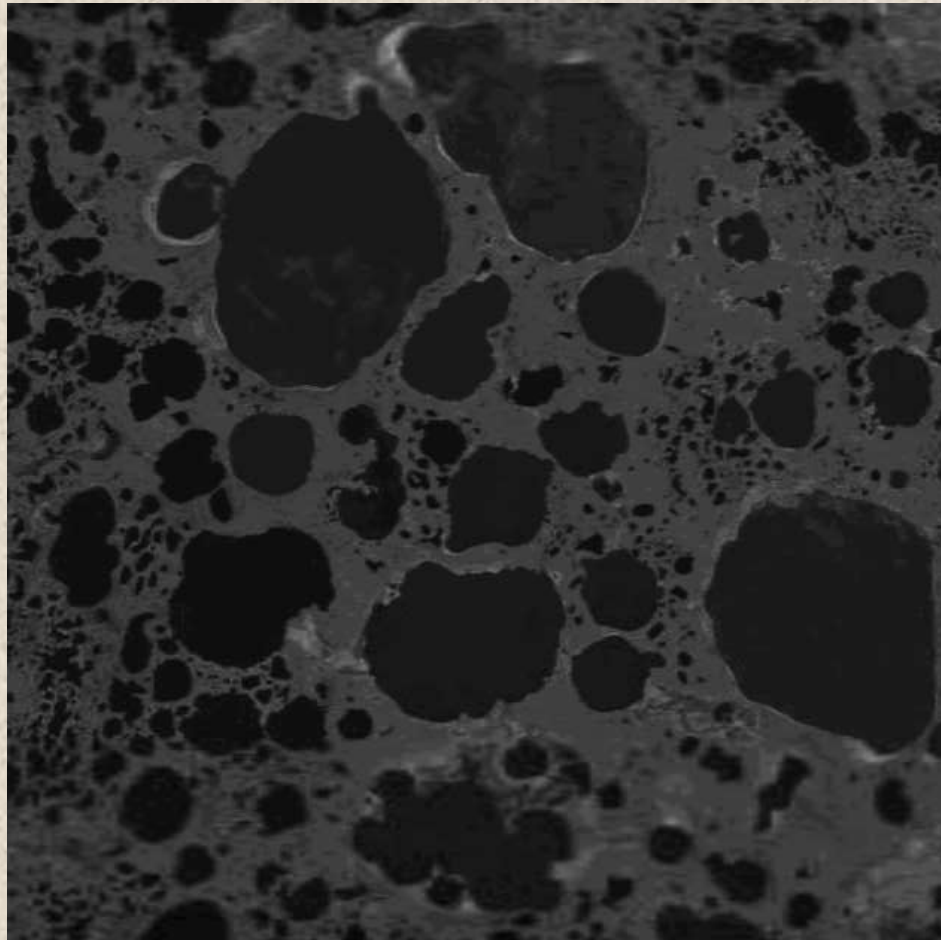
Масштаб 1:1 000 000
КАРТА ПЛИОЦЕН-ЧЕТВЕРТИЧНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ

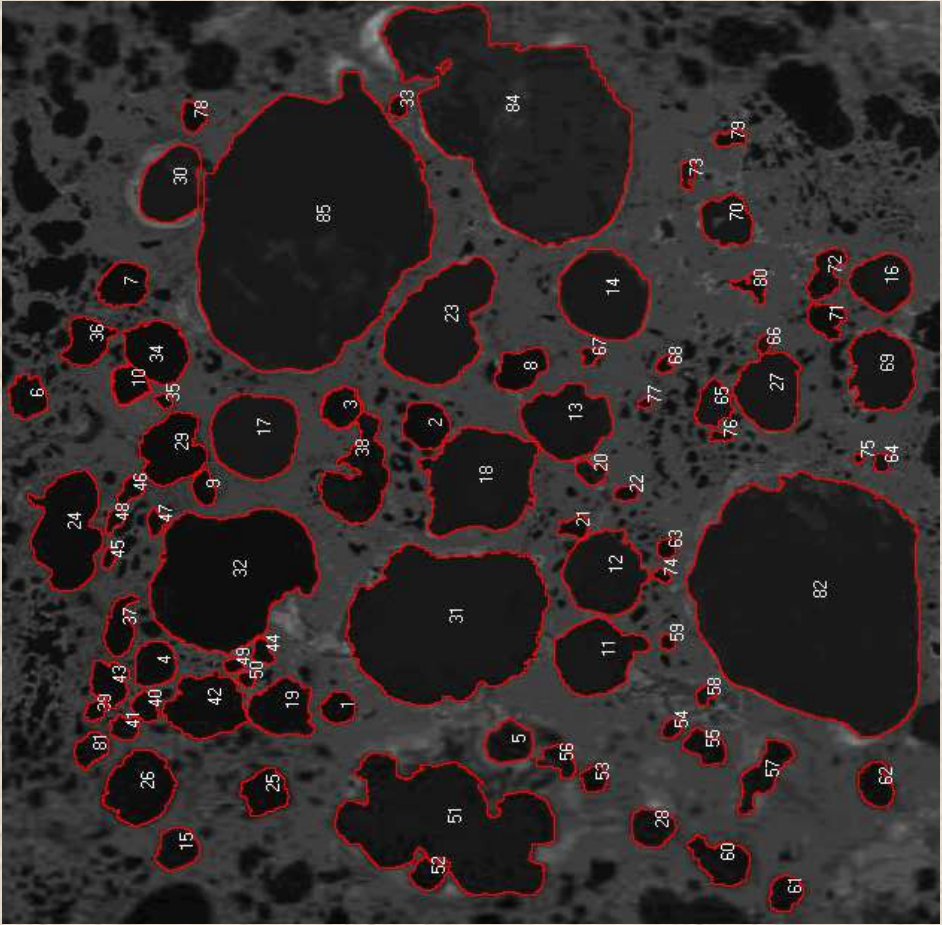


ГОСУДАРСТВЕННАЯ ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ КАРТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

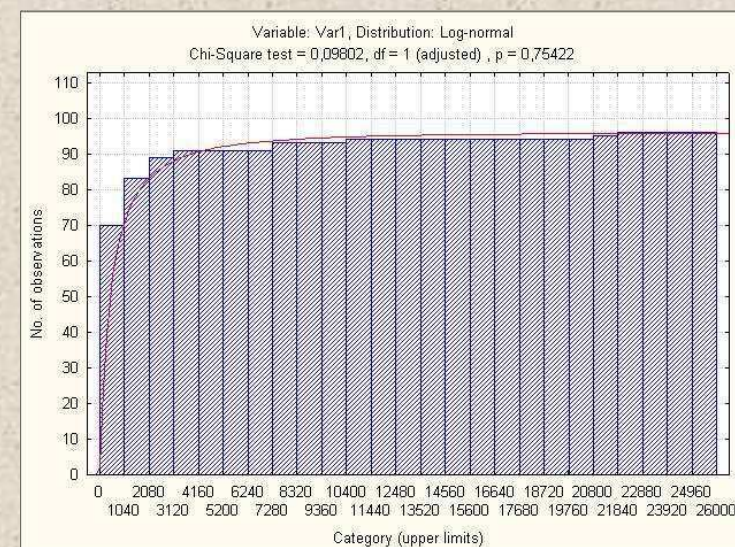
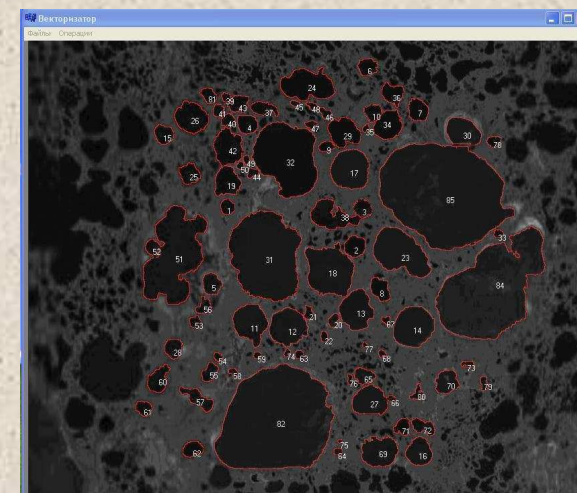
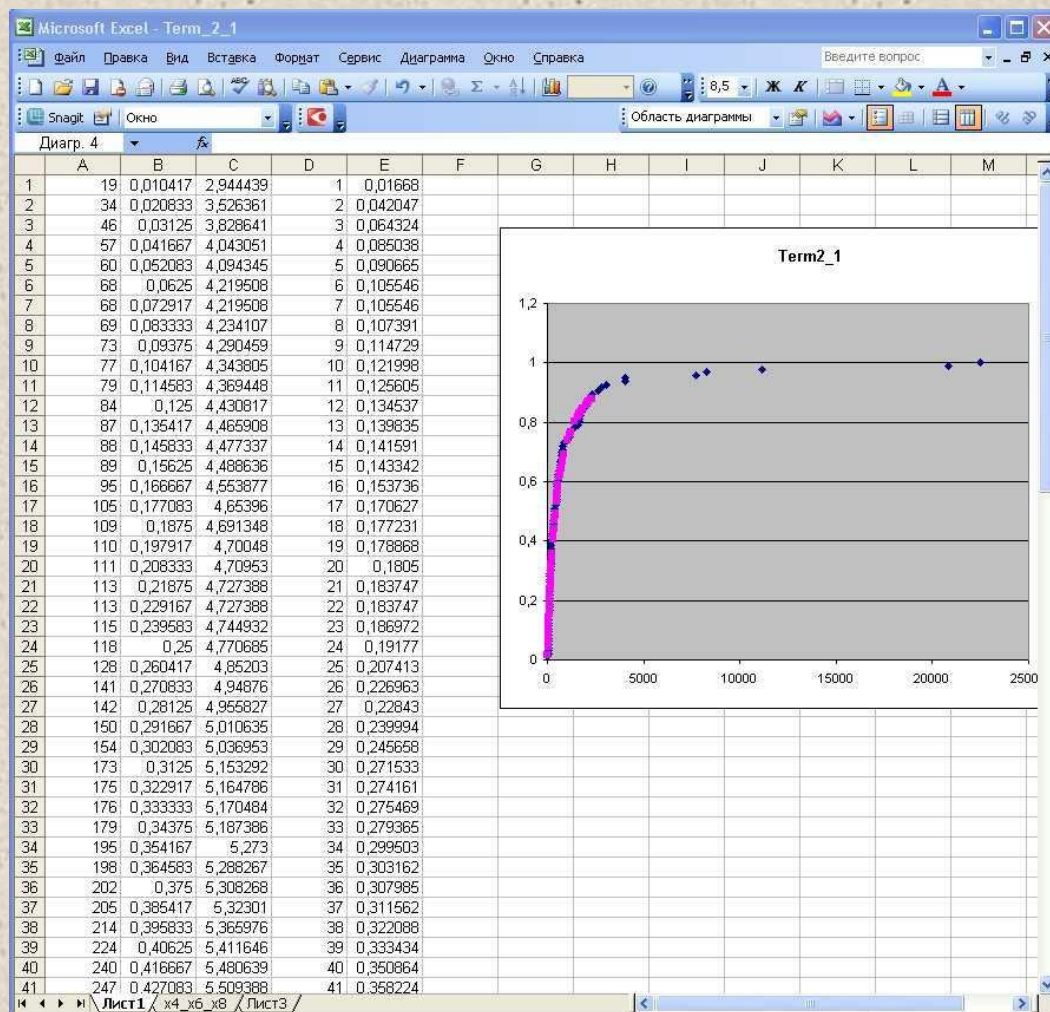
Масштаб 1:1 000 000
ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКАЯ КАРТА







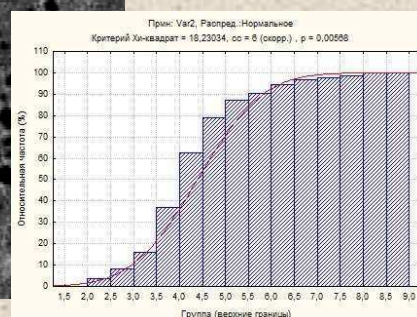
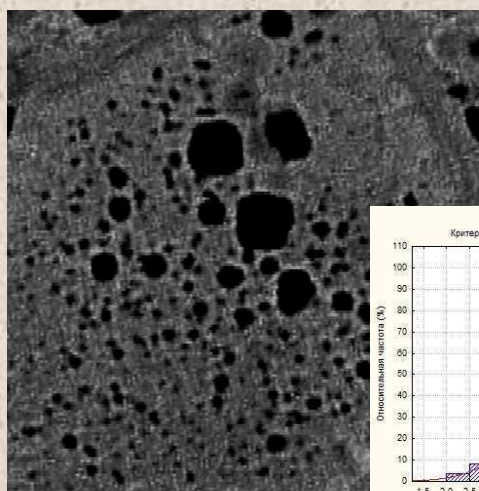
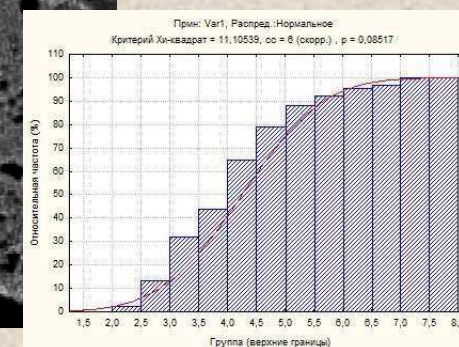
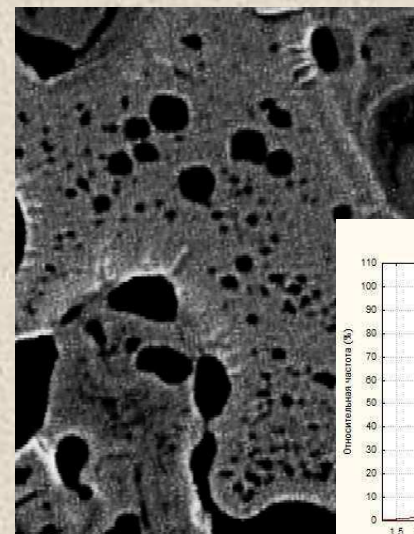
Соответствие теоретических и экспериментальных данных распределения площадей термокарстовых озёр



Соответствие теоретических и экспериментальных данных распределения параметров термокарстовых озер



Участок	χ^2	Число степеней свободы	Критическое значение χ^2 на уровне значимости 0.95 (0.99)
Участок 6	29,09	18	28,87(34,80)



Участок	χ^2	Число степеней свободы	Критическое значение χ^2 на уровне значимости 0.95 (0.99)
Участок 7	11,10	6	12.59 (16.81)

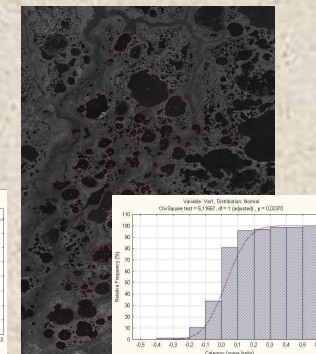
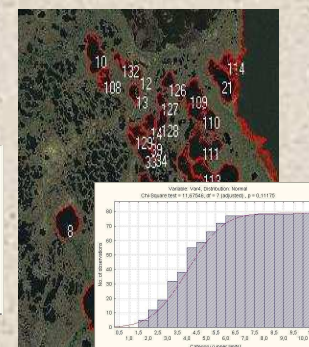
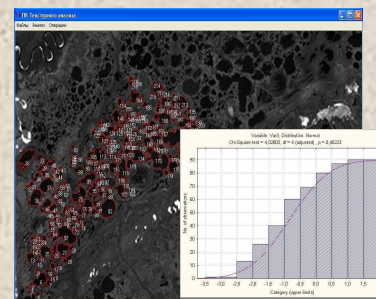
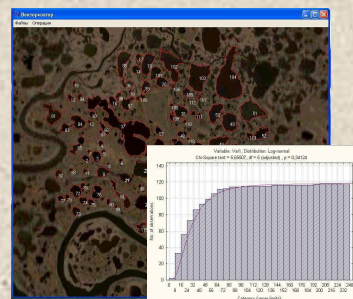
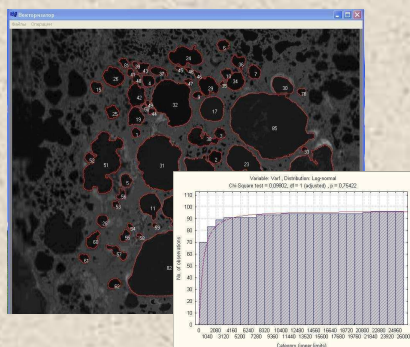
* жирным шрифтом выделены те варианты, которые демонстрируют согласие с соответствующей гипотезой на уровне значимости 0.95 (0.99).

Соответствие теоретических и экспериментальных данных распределения площадей термокарстовых озер



Участок (год съемки)	χ^2	Число степеней свободы	Критическое значение χ^2 на уровне значимости 0.95 (0.99) ^[1]	Средний логарифм площади	Дисперсия логарифма площади
Участок 1 (2005)	6.91	6	12.59 (16.81)	10.71	1.46
Участок 2 (2002)	12,58	6	12.59 (16.81)	5.41	1.29
Участок 4 (2006)	13.42	5	11.07 (15.09)	4.92	1.19
Участок 3 (2007)	18.29	8	15.51 (20.09)	4.33	1.65
Участок 5 (2007)	18.29	8	15.51 (20.09)	12.33	1.63

^[1] Жирным шрифтом выделены те значения, которые демонстрируют согласие с гипотезой на уровне значимости 0.95 и 0.99.



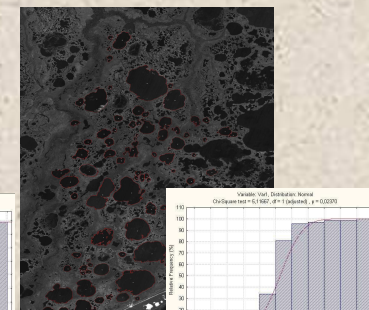
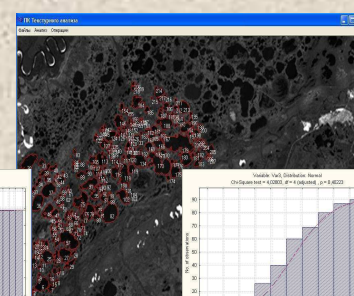
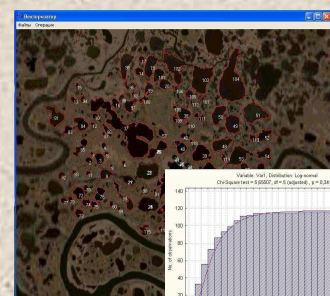
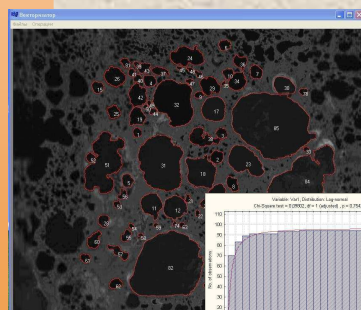
Соответствие теоретических и экспериментальных данных распределения

площадей термокарстовых озер

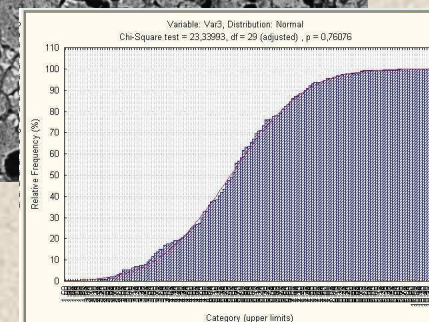
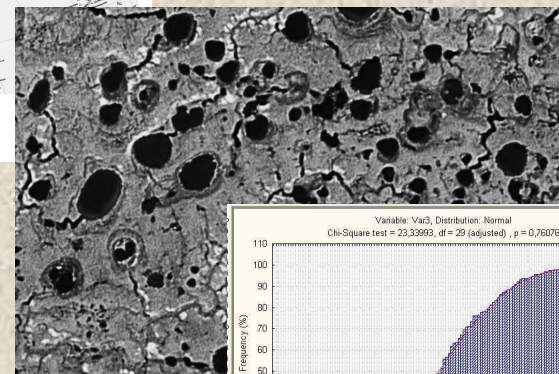
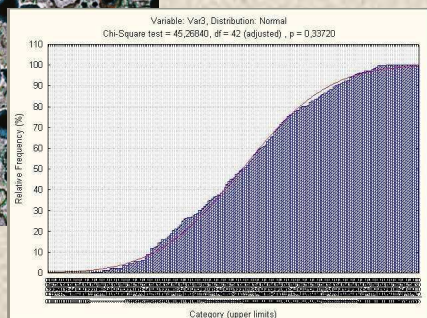
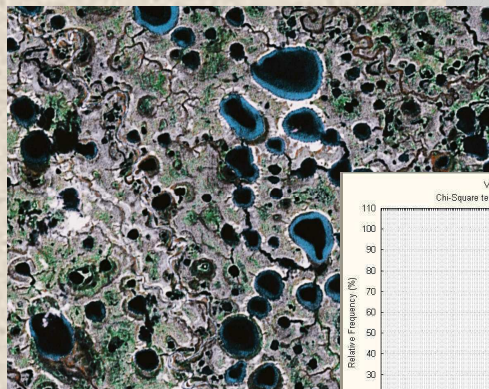


Участок (год съемки)	χ^2	Число степеней свободы	Критическое значение χ^2 на уровне значимости 0.95 (0.99) ^[1]	Средний логарифм площади	Дисперсия логарифма площади
Участок 1 (2005)	6.91	6	12.59 (16.81)	10.71	1.46
Участок 2 (2002)	13.80	5	11.07 (15.09)	5.41	1.29
Участок 4 (2006)	10.72	4	9.49 (13.28)	4.69	1.03
Участок 3 (2007)	15.24	6	12.59 (16.81)	3.82	1.19
Участок 5 (2007)	3.91	5	11.07 (15.09)	11.98	1.29

[1] Жирным шрифтом выделены те значения, которые демонстрируют согласие с гипотезой на уровне значимости 0.95 и 0.99.

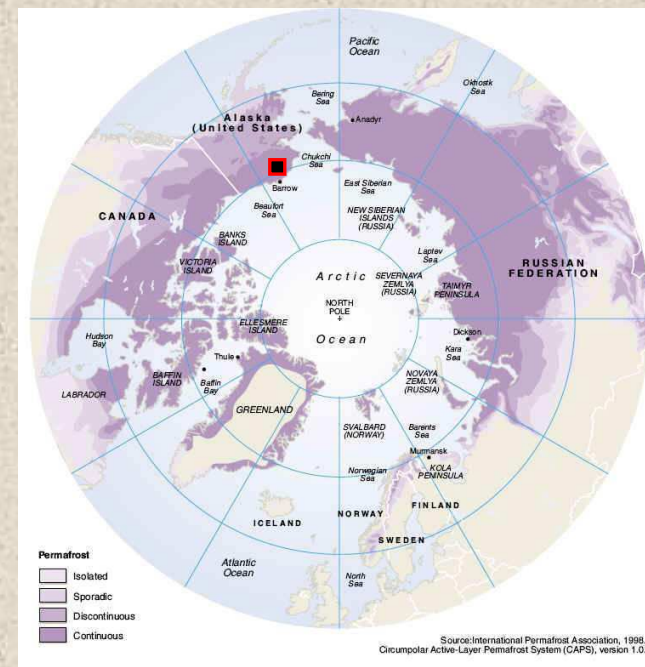
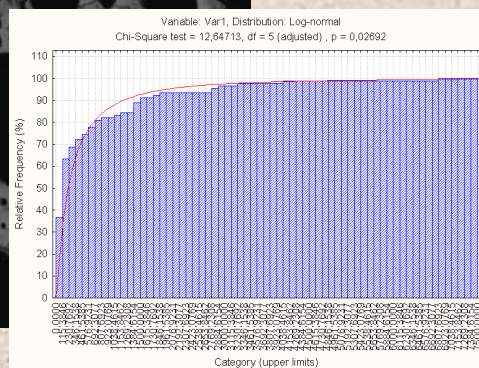
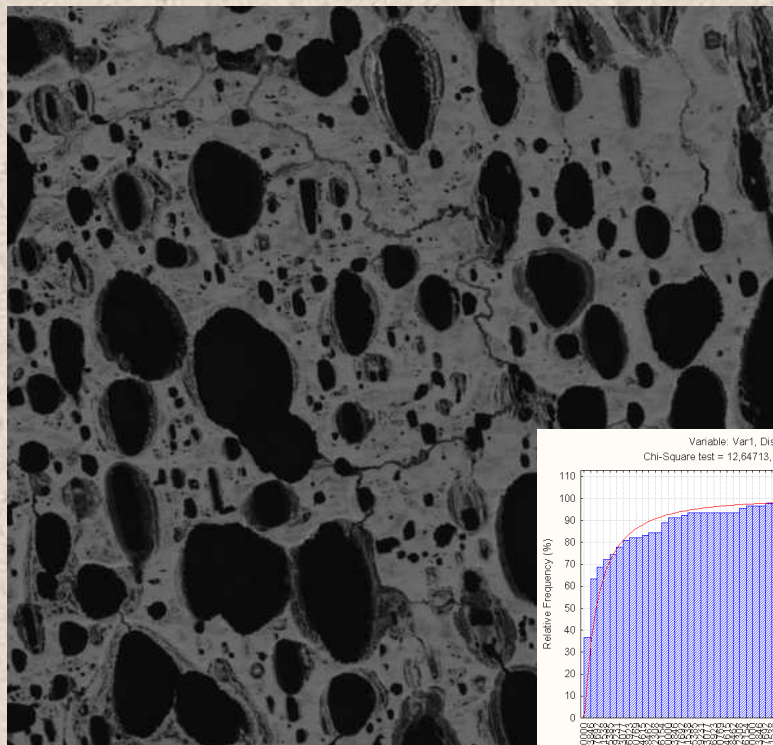


Соответствие теоретических и экспериментальных данных распределения площадей термокарстовых озер



Участок	χ^2	Число степеней свободы	Критическое значение χ^2 на уровне значимости 0.95 (0.99) ^[1]	Средний логарифм площади	Дисперсия логарифма площади
Участок 9	37,12	29	42,56 (49,59)	4,97	3,09
Участок 10	9,05	9	16.92 (21.67)	5.53	2.06

^[1] Жирным шрифтом выделены те значения, которые демонстрируют согласие с гипотезой на уровне значимости 0.95 и 0.99.



Участок (год съемки)	χ^2	Число степеней свободы	Критическое значение χ^2 на уровне значимости 0.95 (0.99) ^[1]	Средний логарифм площади	Дисперсия логарифма площади
Участок 11 (2011)	15,67	7	14.07 (18.48)	12,30	1,89

^[1] Жирным шрифтом выделены те значения, которые демонстрируют согласие с гипотезой на уровне значимости 0.95 и 0.99.

Соответствие теоретических и экспериментальных данных распределения параметров термокарстовых озер (экспоненциальное распределение)

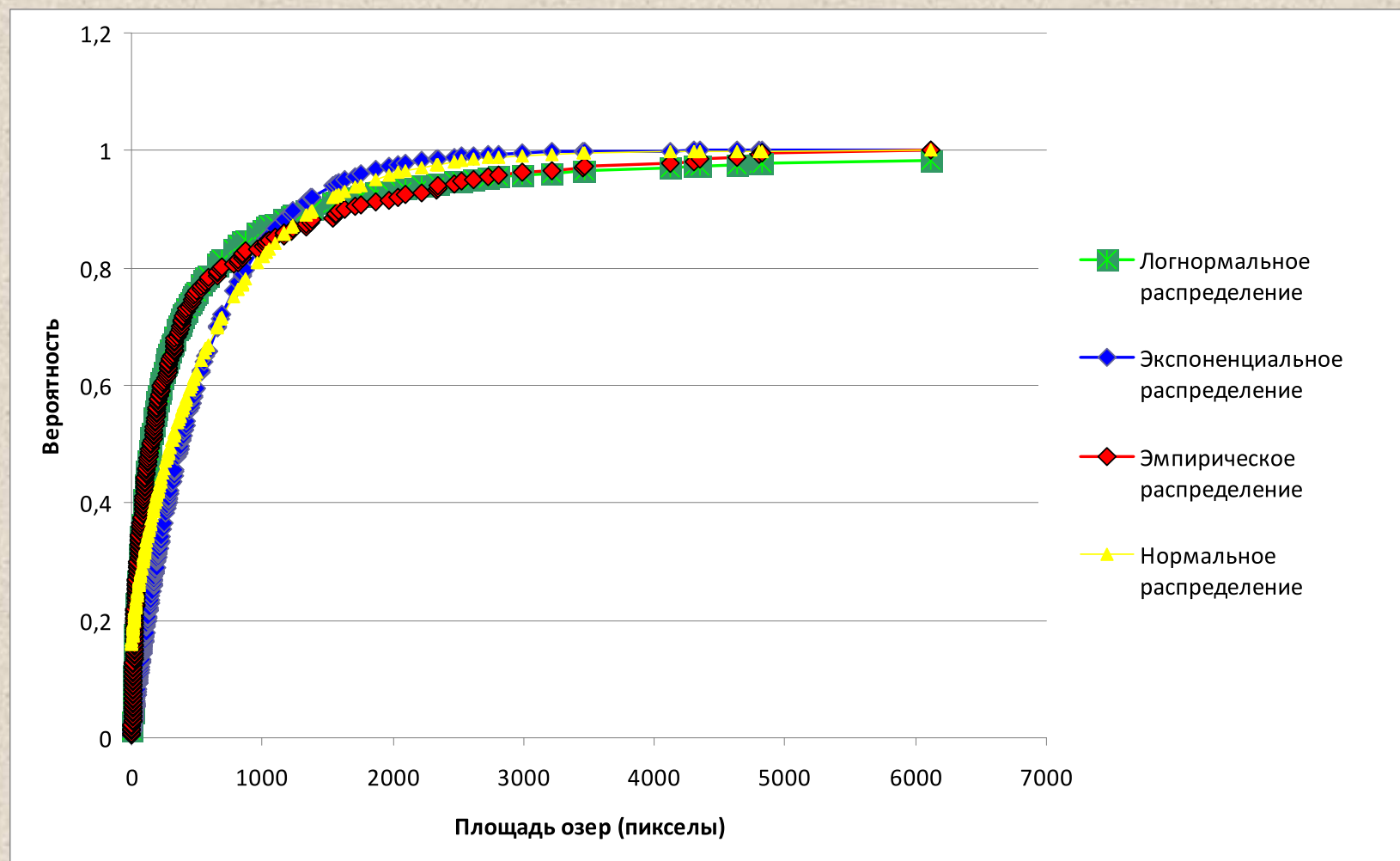
Участок (год съемки)	χ^2	Число степеней свободы	Значение критерия χ^2 на уровне значимости 0.95 (0.99) ^[1]
Участок 1 (2005)	17,03	1	3,84 (6,64)
Участок 2 (год)	2,83	1	3,84 (6,64)
Участок 3 (2007)	33,20	2	5.99 (9.21)
Участок 4 (2006)	5,27	2	5.99 (9.21)
Участок 5 (2007)	6,47	1	3,84 (6,64)
Участок 6	41,56	4	9.49 (13.28)
Участок 7	21,49	3	7.82 (11.34)
Участок 9	82,74	3	7.82 (11.34)
Участок 10	5,85	1	3,84 (6,64)
Участок 11 (2011)	20,58	3	7.82 (11.34)

^[1] Жирным шрифтом выделены те значения, которые демонстрируют согласие с гипотезой на уровне значимости 0.95 и 0.99.

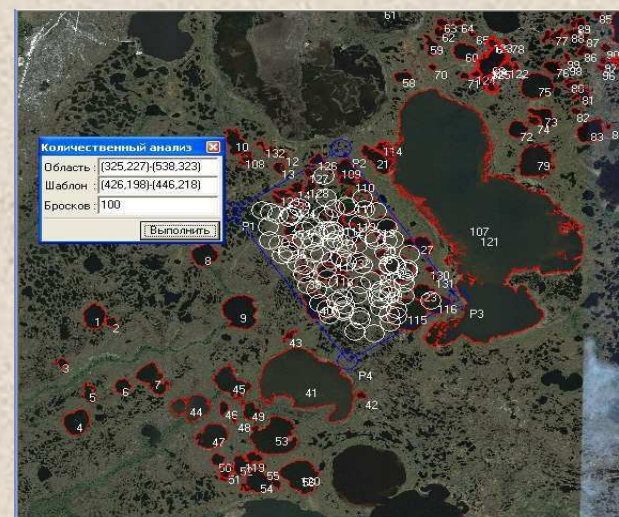
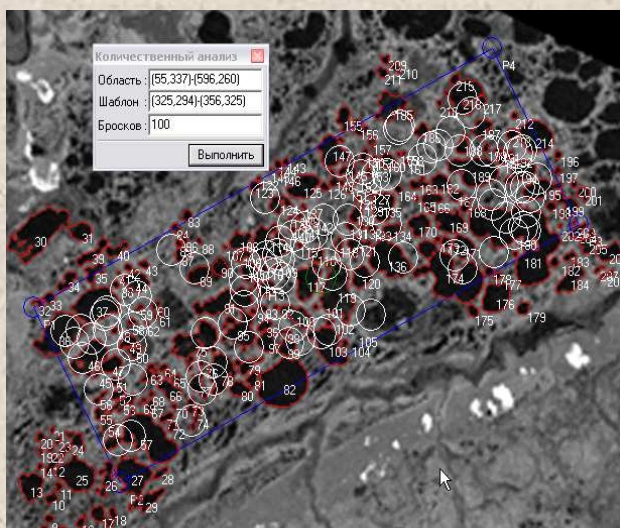
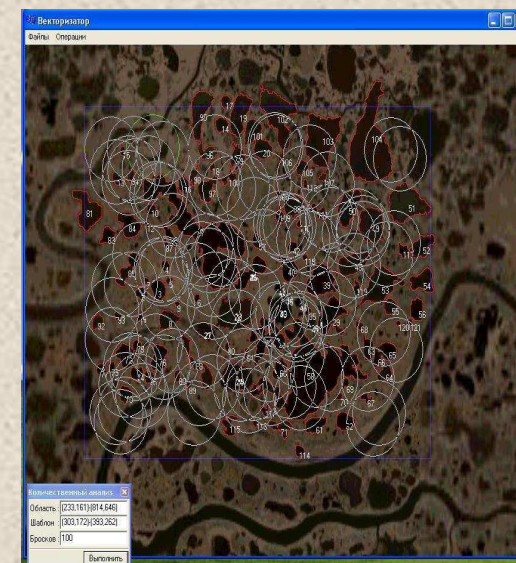
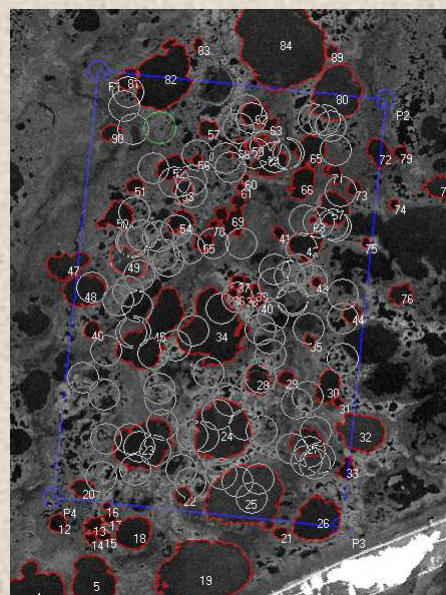
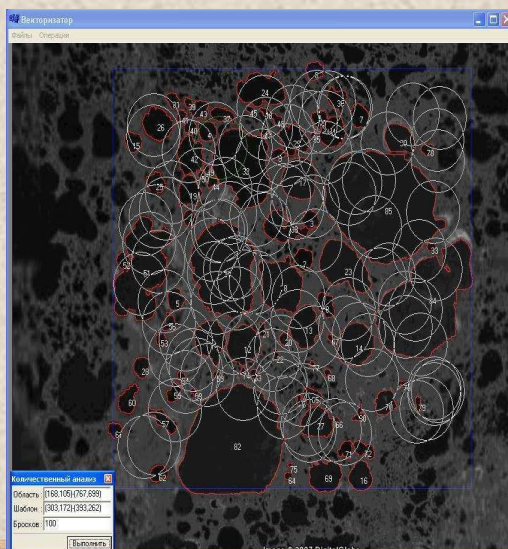
Соответствие теоретических и экспериментальных данных распределения параметров термокарстовых озёр (нормальное распределение)

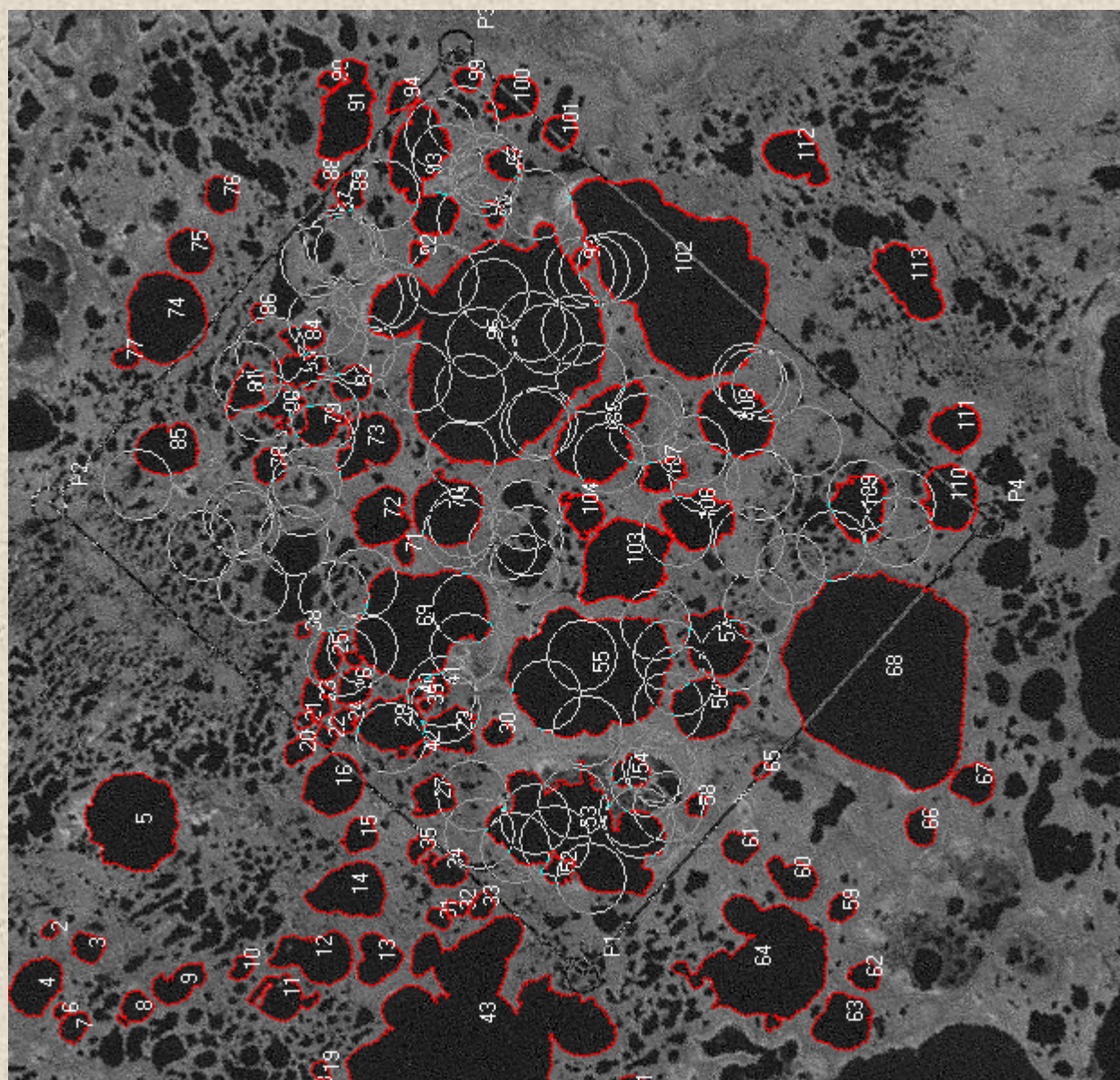
Участок (год съёмки)	χ^2	Число степеней свободы	Значение критерия χ^2 на уровне значимости 0.95 (0.99) <u>Ш</u>
Участок 1 (2005)	79,46	6	12.59 (16.81)
Участок 2 (год)	28,71	6	12.59 (16.81)
Участок 3 (2007)	63,55	3	7.82 (11.34)
Участок 4 (2006)	54.14	5	11.07 (15.09)
Участок 5 (2007)	41,59	5	11.07 (15.09)
Участок 6	93,55	4	9.49 (13.28)
Участок 7	41,02	3	7.82 (11.34)
Участок 9	163,2	9	16.92 (21.67)
Участок 10	67,41	4	9.49 (13.28)
Участок 11 (2011)	113,71	7	14.07 (18.48)

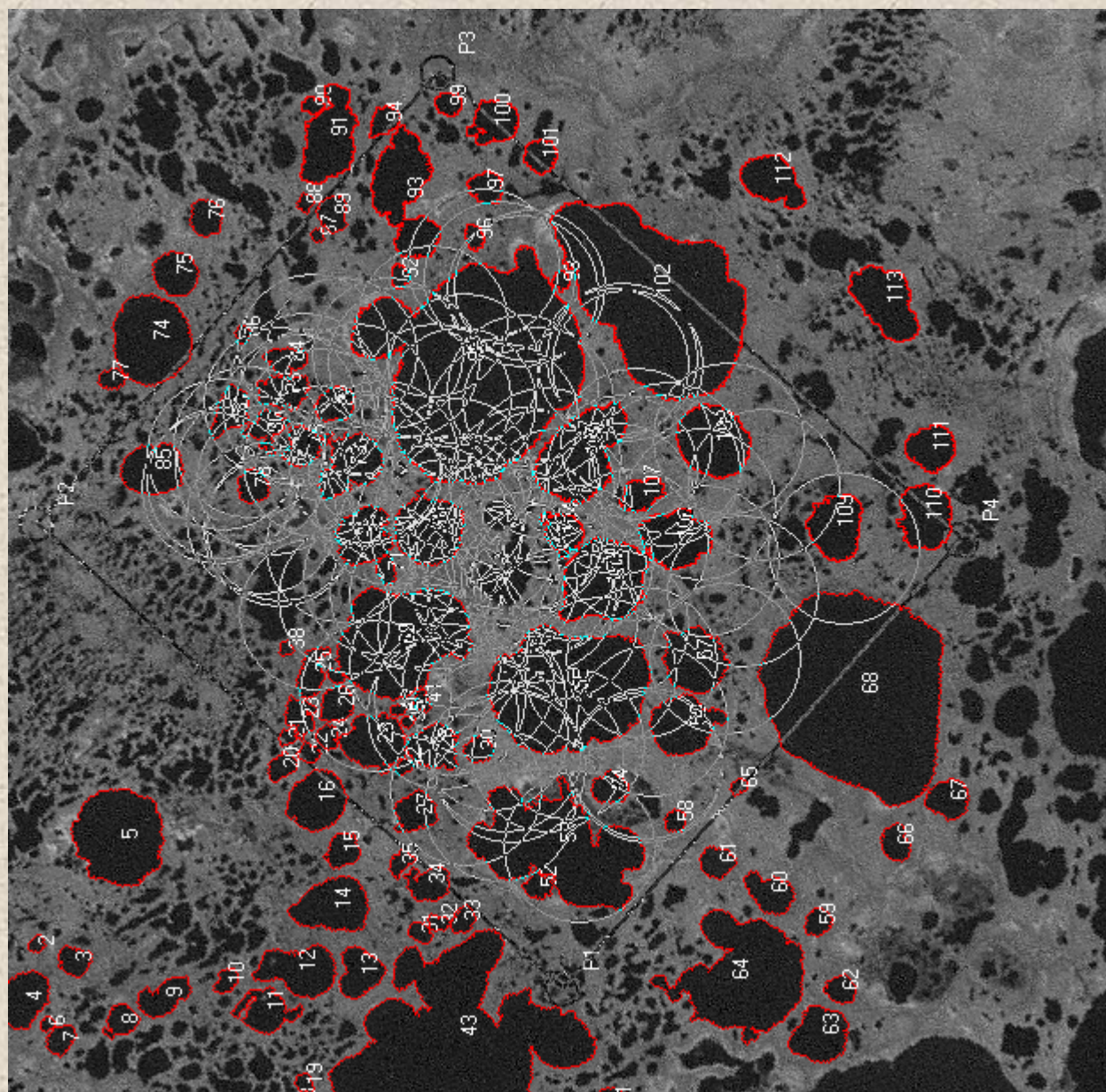
Ш Жирным шрифтом выделены те значения, которые демонстрируют согласие с гипотезой на уровне значимости 0.95 и 0.99.



Закономерности пространственного расположения морфологических структур







Параметры распределения и их соответствие распределению Пуассона

Имя файла	Размер круга (пиксел)	λ	χ^2	Число степеней свободы	Значение критерия χ^2 на уровне значимости 0.95 (0.99) Ш
Участок 1 (2005)	300	4.97	12.63	6	12.59 (16.81)
	286	4.52	1.59	6	12.59 (16.81)
	250	3.58	6.92	5	11.07 (15.09)
	214	2.45	4.41	4	9.49 (13.28)
	206	1.9	2.96	3	7.82 (11.34)
	175	1.69	4.73	3	7.82 (11.34)
	136	0.95	4.04	2	5.99 (9.21)
	119	0.87	4.12	2	5.99 (9.21)
	102	0.64	0.79	1	3.84 (6.64)
	87	0.54	1.65	1	3.84 (6.64)
Участок 2 (2002)	179	5.71	7.45	7	14.07 (18.48)
	99	3.57	3.19	5	11.07 (15.09)
	70	2.73	3.57	5	11.07 (15.09)
	61	1.67	3.88	3	7.82 (11.34)
	47	0.77	5.67	1	3.84 (6.64)
	37	0.51	3.23	1	3.84 (6.64)
Участок 3 (2007)	116	18.87	10.42	6	12.59 (16.81)
	96	12.61	1.24	5	11.07 (15.09)
	77	7.8	17.24	7	14.07 (18.48)
	60	5.65	5.77	7	14.07 (18.48)
	43	2.65	3.42	5	11.07 (15.09)
Участок 4 (2006) (область 12 года)	44	2.83	11.41	5	11.07 (15.09)
	36	1.76	9.31	3	7.82 (11.34)
	32	1.41	2.22	3	7.82 (11.34)
	27	0.95	6.02	2	5.99 (9.21)
Участок 5 2007_5.8	337	2.58	0.91	4	9.49 (13.28)
	316	1.99	9.73	4	9.49 (13.28)
	269	1.26	0.27	2	5.99 (9.21)
	232	0.96	1.78	2	5.99 (9.21)
	199	0.89	1.54	2	5.99 (9.21)
	173	0.54	0.92	1	3.84 (6.64)
	137	0.46	0.46	1	3.84 (6.64)

Параметры распределения и их соответствие распределению Пуассона

Имя файла	Размер круга (пиксел)	λ	χ^2	Число степеней свободы	Значение критерия χ^2 на уровне значимости 0.95 (0.99) Ш
	86	4.35	4.17	6	12.59 (16.81)
	73	3.51	6.65	5	11.07 (15.09)
	71	3.01	1.21	4	9.49 (13.28)
	61	2.01	12.89	4	9.49 (13.28)
	45	1.1	3.21	2	5.99 (9.21)
	38	0.86	0.48	2	5.99 (9.21)
	34	0.86	0.39	2	5.99 (9.21)
	29	0.62	0.03	1	3.84 (6.64)
Участок 7	77	4.49	15.31	6	12.59 (16.81)
	64	3.17	3.55	4	9.49 (13.28)
	59	2.43	10.17	4	9.49 (13.28)
	50	1.88	17.89	3	7.82 (11.34)
	43	1.4	1.94	3	7.82 (11.34)
	35	0.98	7.57	2	5.99 (9.21)
	27	0.7	7.90	1	3.84 (6.64)
Участок 9	193	9.15	13.17	9	16.92 (21.67)
	195	9.46	14.89	7	14.07 (18.48)
	158	6.21	12.05	7	14.07 (18.48)
	129	4.03	9.8	6	12.59 (16.81)
	113	3.2	3.14	4	9.49 (13.28)
	83	1.62	1.24	3	7.82 (11.34)
	61	0.75	2.64	1	3.84 (6.64)
	44	0.43	0.30	1	3.84 (6.64)
Участок 10	131	4.93	6.0	4	9.49 (13.28)
	127	4.48	8.99	6	12.59 (16.81)
	106	2.61	7.01	4	9.49 (13.28)
	86	1.99	6.42	4	9.49 (13.28)
	57	0.68	0.28	1	3.84 (6.64)
	42	0.46	1.58	1	3.84 (6.64)

Параметры распределения и их соответствие распределению Пуассона (участок 11)

Участок (Год)	Размер площадки (пиксел)	Размер круга (пиксел)	λ	χ^2	Число степеней свободы	Значение критерия χ^2 на уровне значимости 0.95 (0.99) [1]
Участок 11 (2011)	532x312	82	2.92	23.23	5	11.07 (15.09)
		70	2.37	16.03	4	9.49 (13.28)
		68	2.09	14.76	4	9.49 (13.28)
		58	1.34	5.16	2	5.99 (9.21)
		48	1.13	4.25	2	5.99 (9.21)
		41	0.7	0.52	1	3.84 (6.64)

[\[1\]](#) Жирным шрифтом выделены те значения, которые демонстрируют согласие с гипотезой на уровне значимости 0.95 и 0.99.

Заключение:

-Анализ показал, что на выбранных участках находящихся в разных физико-географических, климатических и геологических условиях, местами с действием усложняющих факторов, теоретические предположения о логнормальном росте площадей озер подтверждаются экспериментально.

-Рассматривались другие теории роста площадей термокарстовых озер, рассмотрение выявило, что для исследуемых участков, предположение о логнормальном росте более всего отвечает экспериментальной кривой распределения площадей озер.

-Распределение Пуассона для расположения термокарстовых озер справедливо для различных условий, в частности, независимо от слияния озер. Возможно, на характер распределения также не влияет наличие мелких не термокарстовых озер и неоднородность территории, но, видимо, влияет неравномерность роста озер (когда озера растут согласно преобладающим ветрам).

Спасибо за внимание!