

Выбор архитектуры нейронной сети для восстановления солености поверхностных вод по спутниковым данным видимого диапазона

Selection of Neural Network Architecture to Retrieve Sea Surface Salinity from Ocean Colour Data

Морозов Е. А. (МГИ, РАН, Севастополь)
Morozov Evgeny (MHI, RAS, Sevastopol)

Таруса, 25 мая 2025
Tarusa, May 25 2025

Introduction

CO₂

CO₂ <-> Alkalinity <-> Salinity (CO₂ <-> Щёлочность <-> Соленость)

SMOS (Soil Moisture and Ocean Salinity), SMAP (Soil Moisture Active Passive), AMSR2 (Advanced Microwave Scanning Radiometer 2)

+зависимость яркостной Т от солёности

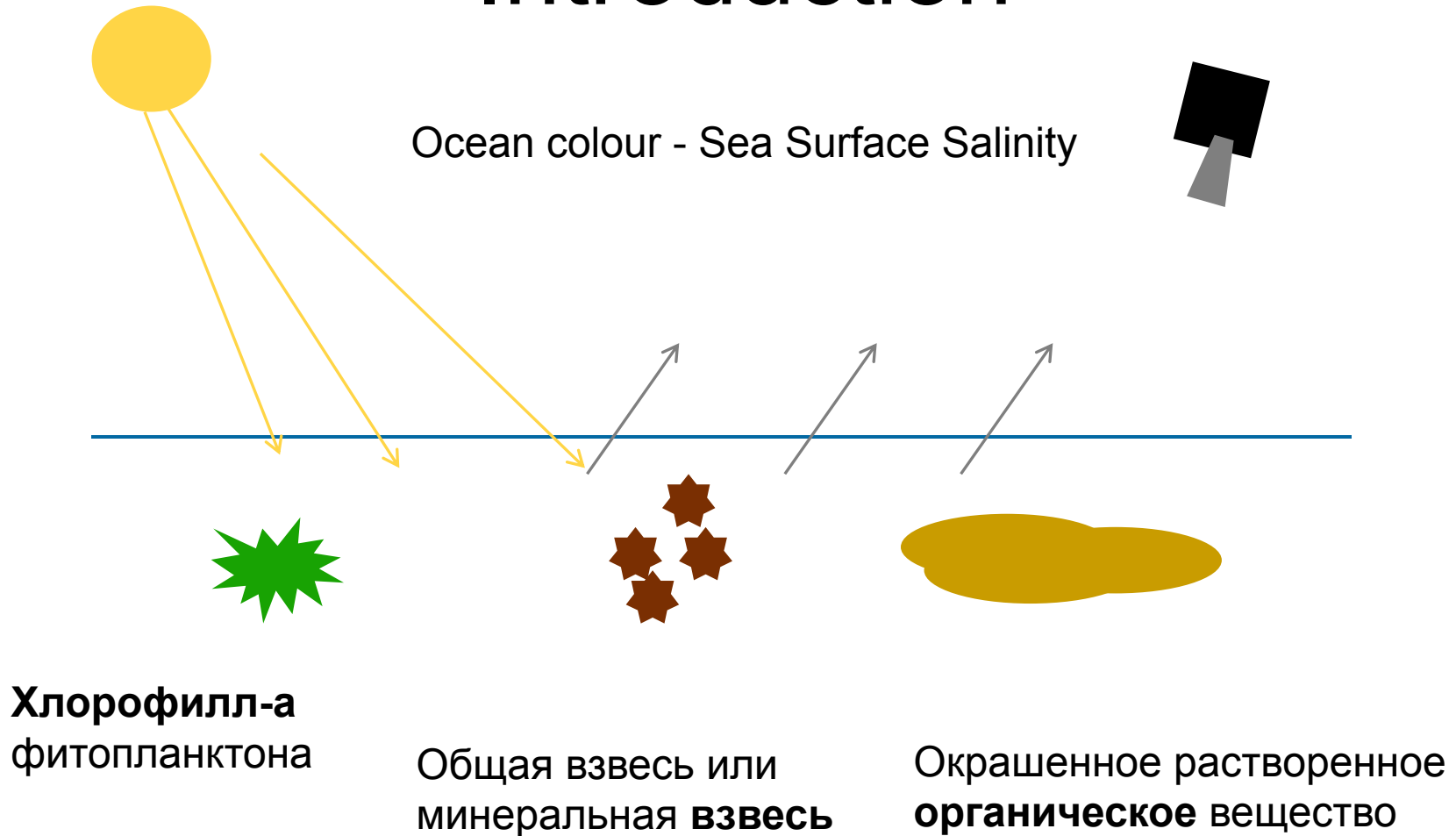
-пространственное разрешение (50-150 км)

Ocean Colour Algorithms

-нет физической связи, только статистическая

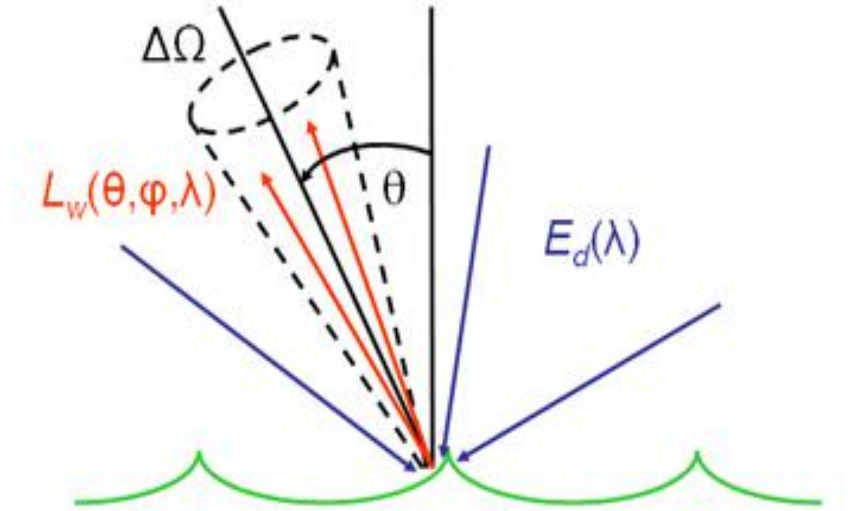
+пространственное разрешение (4 - 0,25км)

Introduction



Introduction

Ocean colour - Sea Surface Salinity



$$R_{rs}(\theta, \phi, \lambda) \equiv \frac{L_w(\text{in air}, \theta, \phi, \lambda)}{E_d(\text{in air}, \lambda)} \quad (\text{sr}^{-1})$$

Satellite Data

1997-2024 version 6.0 datasets at 4km resolution, global, daily

Rrs at standard MERIS wavelengths (412, 443, 490, 510, 560, 665 nm)

SeaWiFS September 1997 - December 2010,

MERIS April 2002 - April 2012,

Aqua-MODIS July 2002 - Dec 2019,

S-VIIRS 2012 - 2019,

S3A OLCI May 2016 - ongoing,

S3B OLCI June 2018 - ongoing.

Atmospheric correction was carried out using the POLYMER algorithm for MERIS & MODIS

and SeaDAS v7.3 processor for SeaWiFS and VIIRS.

The Rrs values from SeaWiFS, MODIS and VIIRS were band-shifted to MERIS wavebands if necessary, and SeaWiFS and MODIS were corrected for inter-sensor bias when compared with MERIS in the 2003-2007 period.

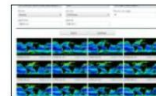
VIIRS and OLCI were also corrected to MERIS levels, via a two-stage process comparing against the MODIS-corrected-to-MERIS-levels.

 www.oceancolour.org



References & Citation Information

For complete details of relevant references, DOIs, and citation information please see the [Ocean Colour section of the ESA Climate website](#)



Composite Browser

Access a range of products composited in different periods. Data can be searched by time ranges, periods, products & wavelengths.



OPeNDAP

A freely available framework that simplifies all aspects of scientific data networking, making local data available to remote locations regardless of storage format.



Web GIS Portal

View, manipulate & analyse data.



FTP

To download the large OC-CCI V6.0 dataset via FTP, use the credentials mentioned here.

About

This site provides satellite observations of ocean colour, focusing on the Ocean Colour Climate Change Initiative project (see more about this project).

Useful Links

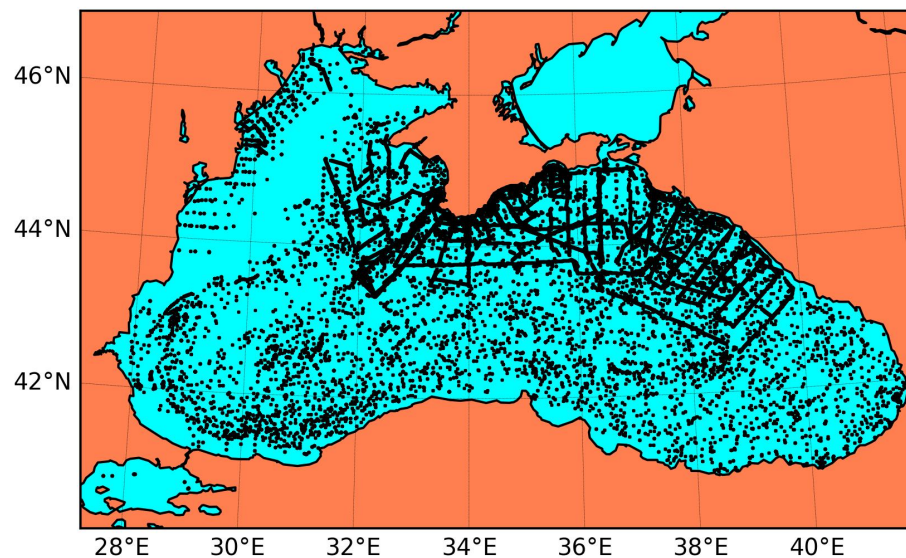
- International Ocean Colour Coordinating Group
- ESA Ocean Colour CCI
- NASA Ocean Color

Contact Us

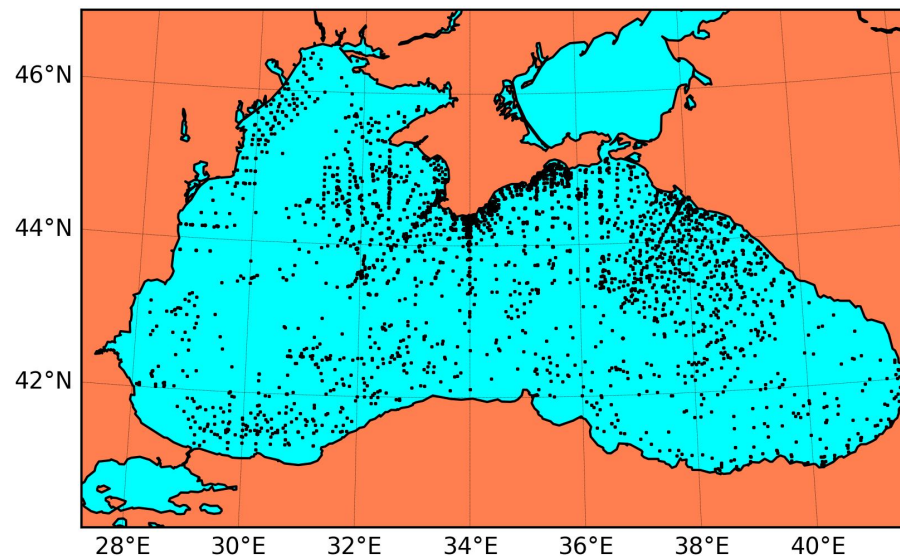
Contact us via: OC-CCI Processing Email

in situ Data

Все in situ

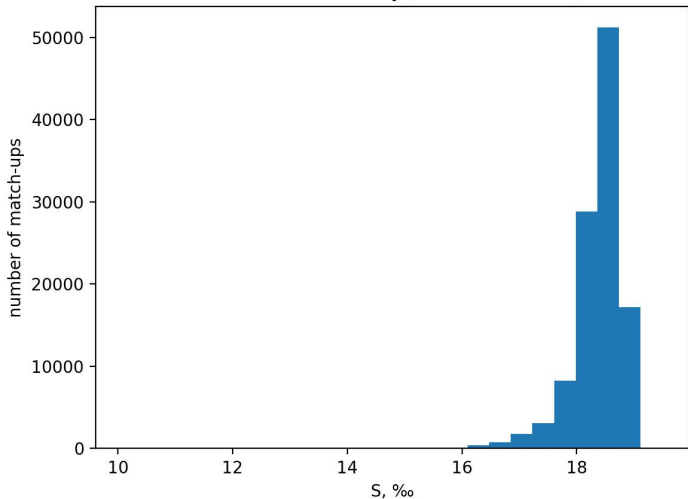


Тренировка (match-ups) 112 000

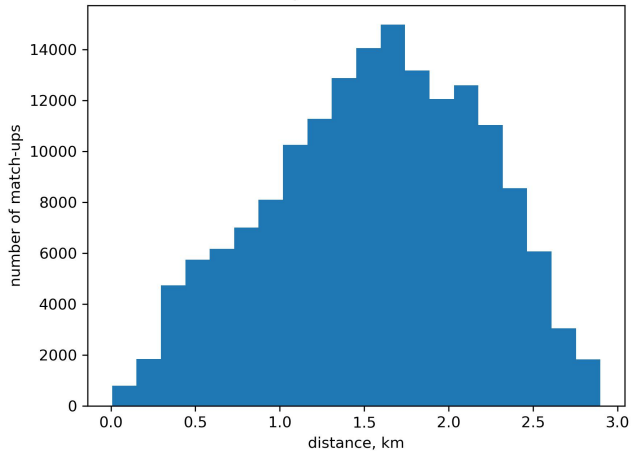


Статистика match-ups

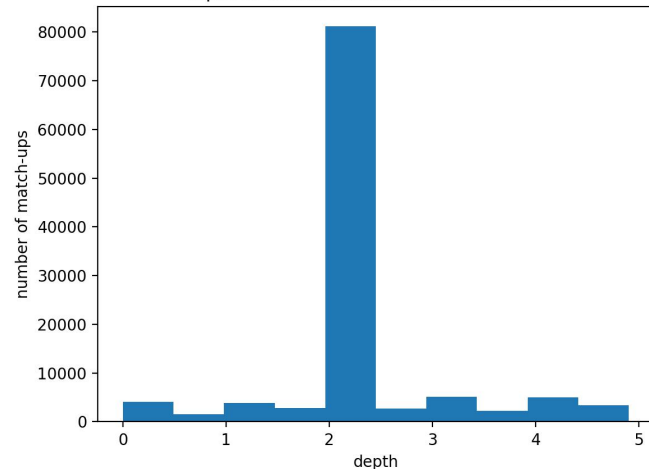
Sea Surface Salinity (112019 records)



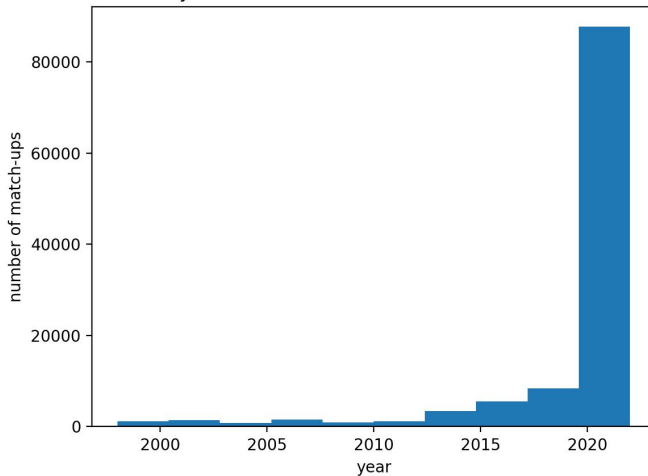
distance from 4x4 km pixel center to in situ measurement



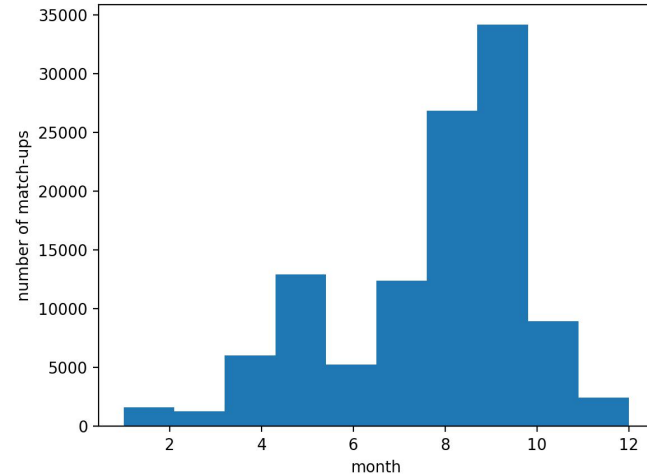
depth of in situ measurements above 5m



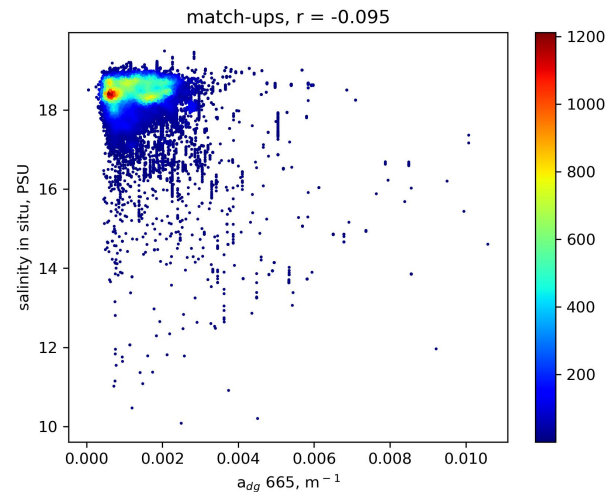
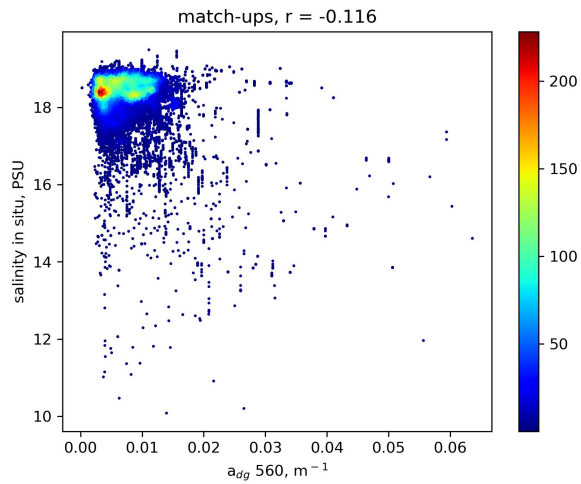
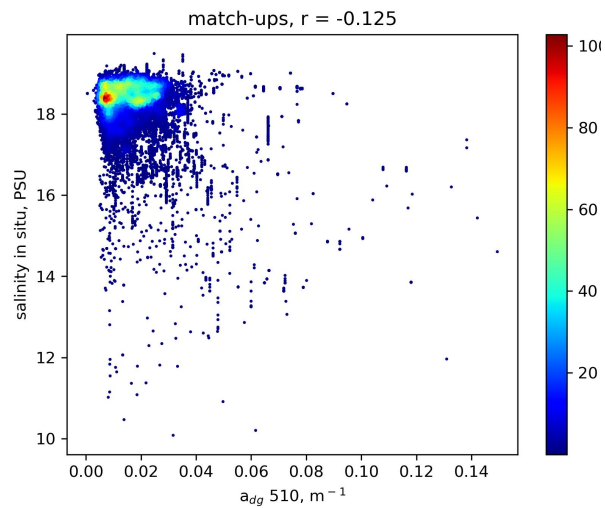
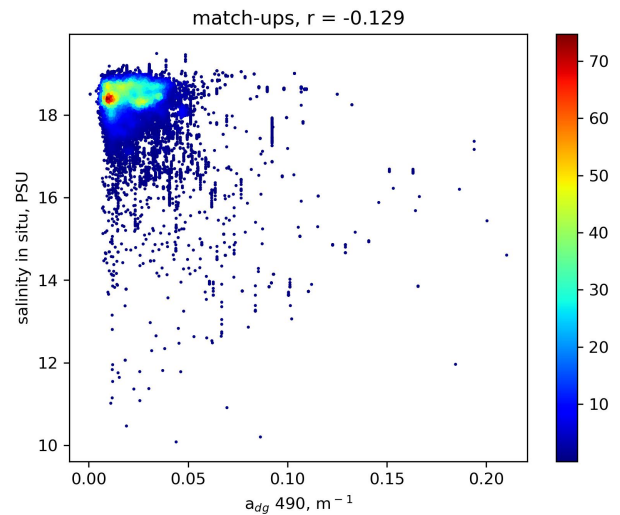
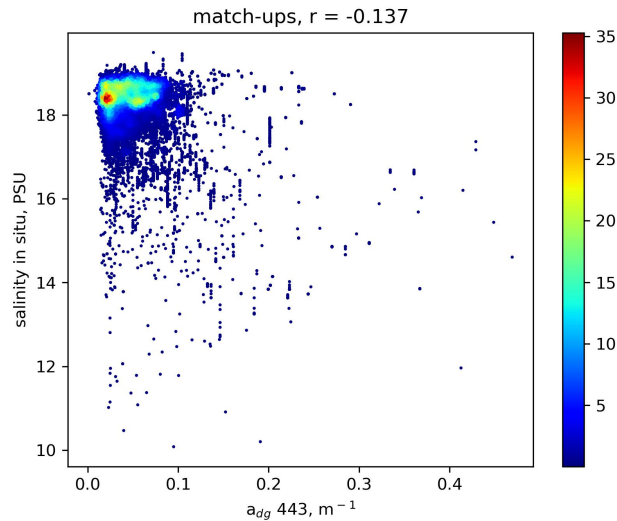
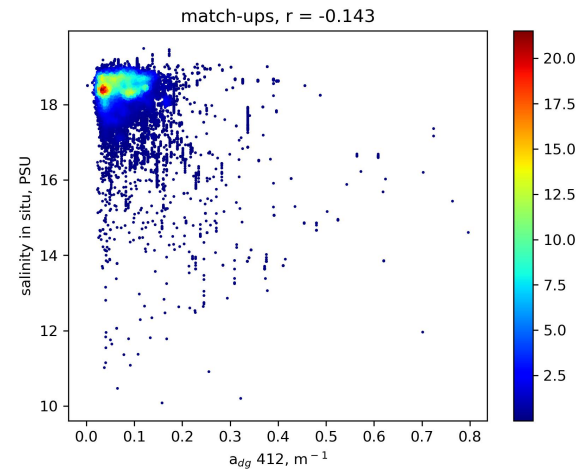
years of in situ measurements above 5m



month of in situ measurements above 5m

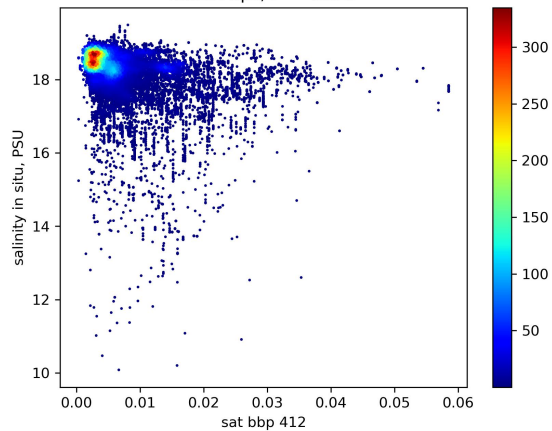


r SSS - a_{dg}

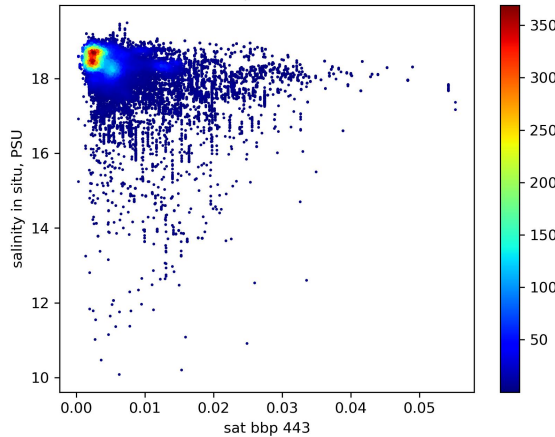


r SSS - b_{bp}

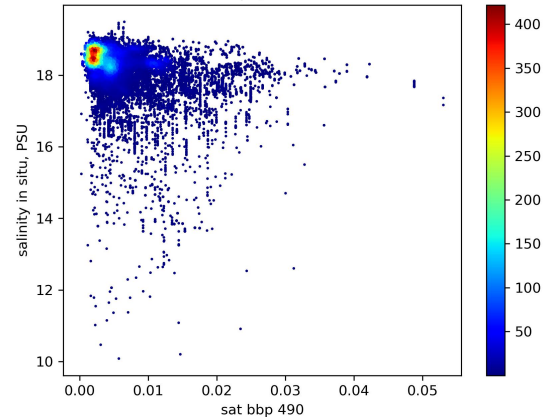
match-ups, $r = -0.319$



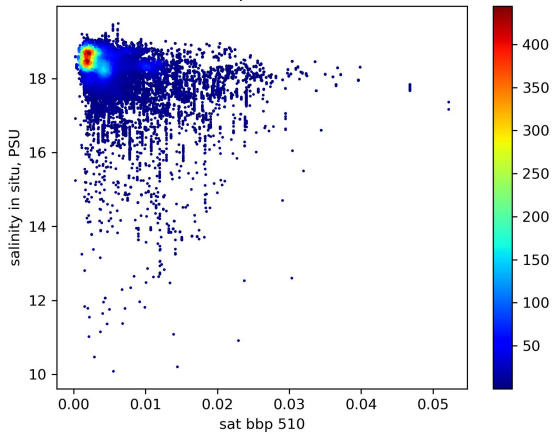
match-ups, $r = -0.328$



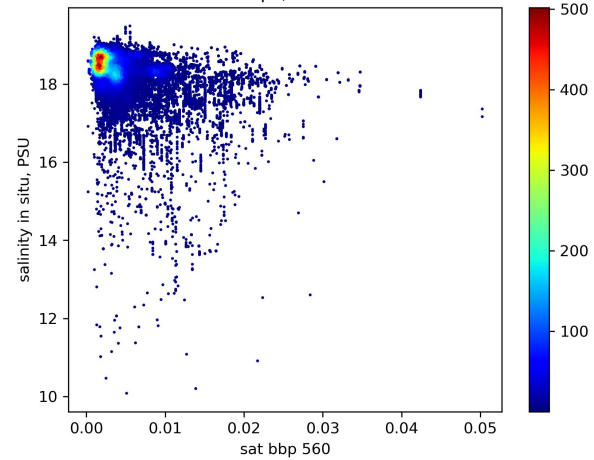
match-ups, $r = -0.341$



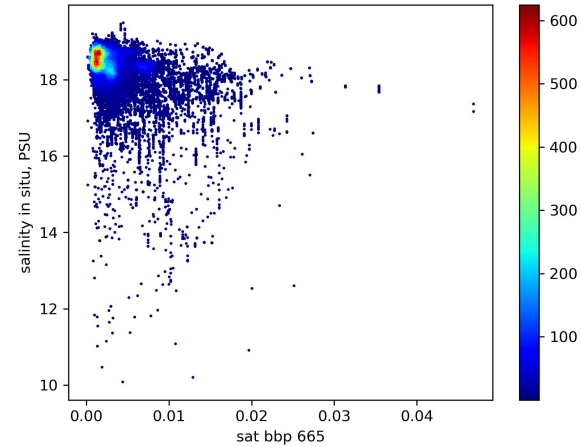
match-ups, $r = -0.346$



match-ups, $r = -0.357$

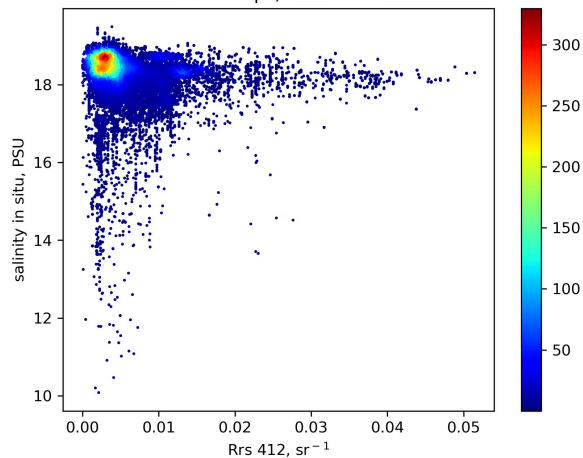


match-ups, $r = -0.377$

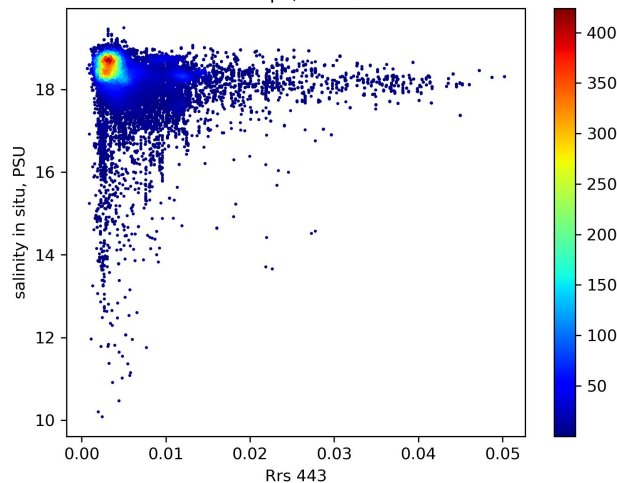


r SSS - Rrs

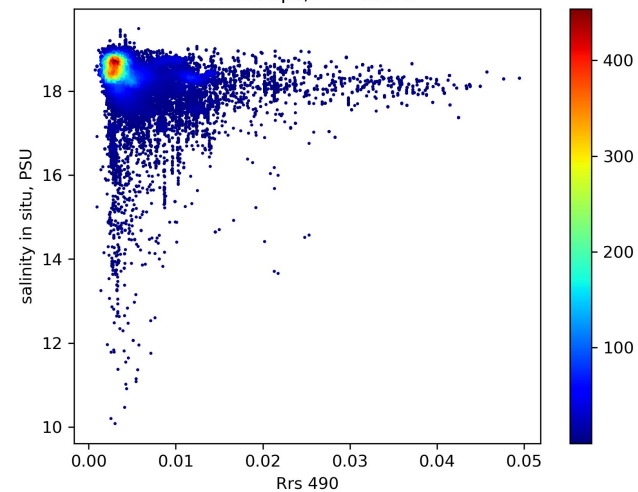
match-ups, $r = -0.131$



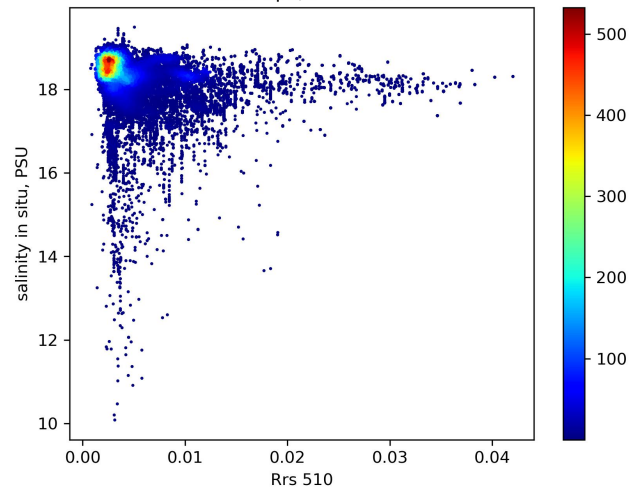
match-ups, $r = -0.144$



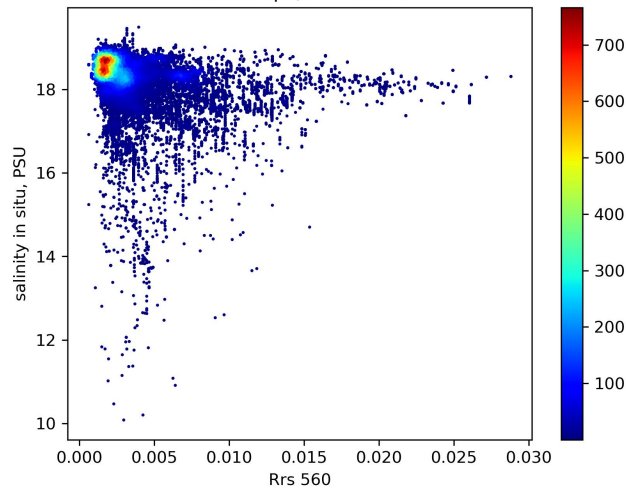
match-ups, $r = -0.175$



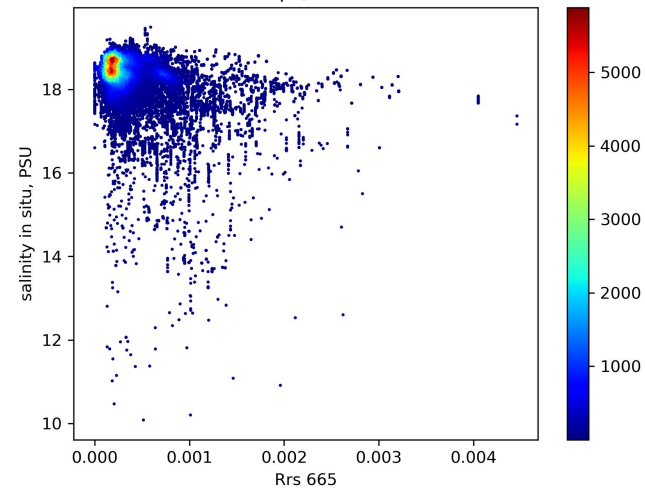
match-ups, $r = -0.201$



match-ups, $r = -0.276$

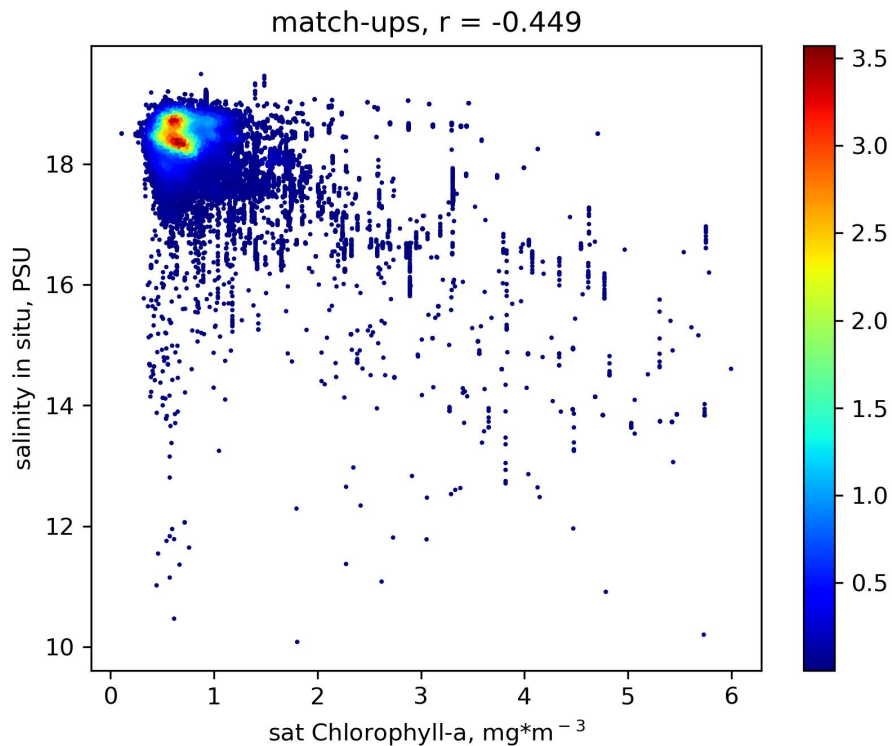


match-ups, $r = -0.324$

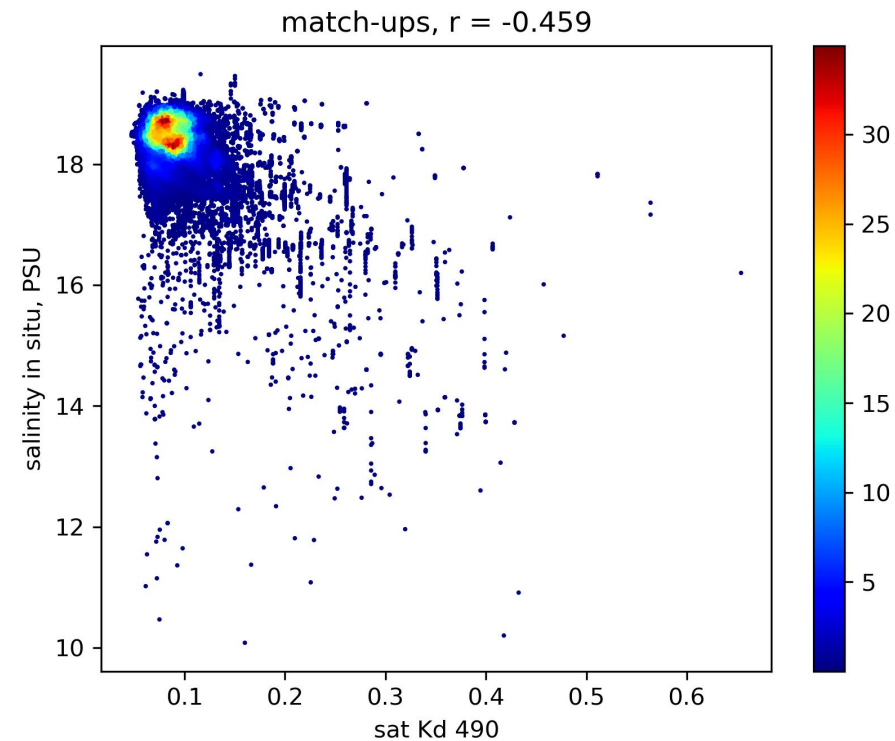


SSS - Chl-a, SSS - Kd_{490}

r

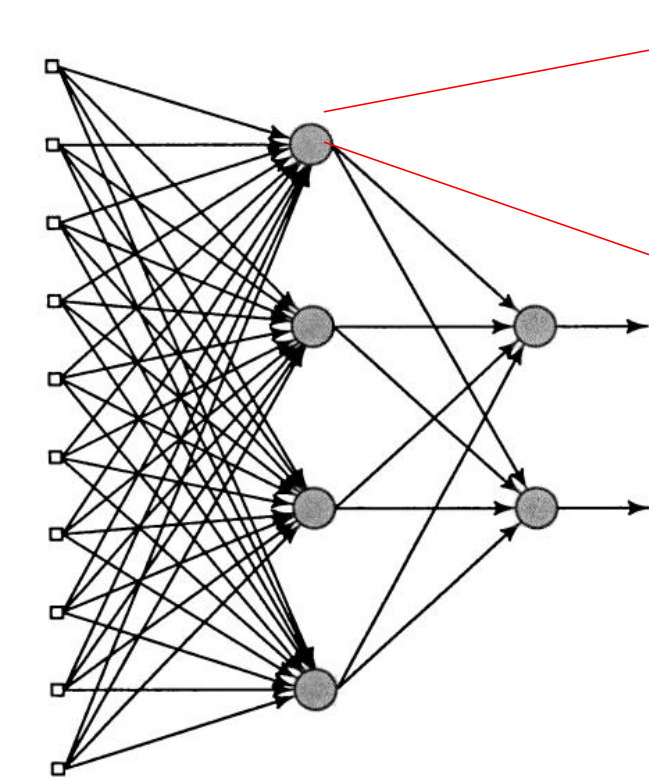


r



ИНС Искусственная нейронная сеть ANN Artificial Neural Network

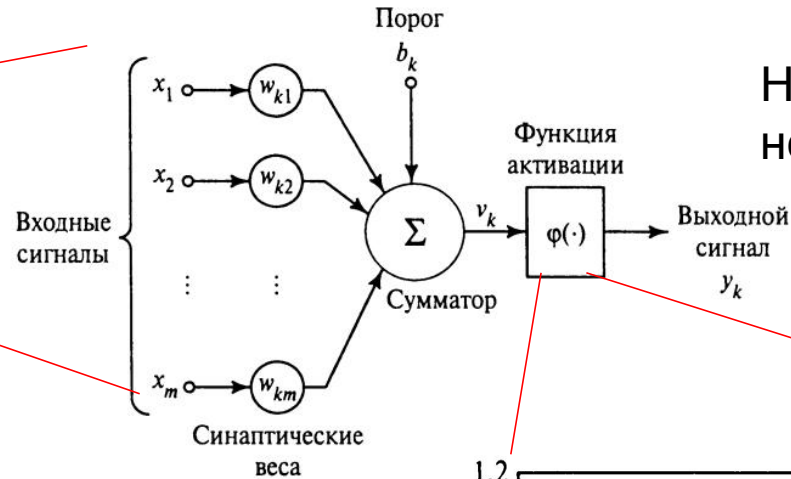
Полносвязная сеть прямого распространения с одним скрытым и одним выходным слоем.



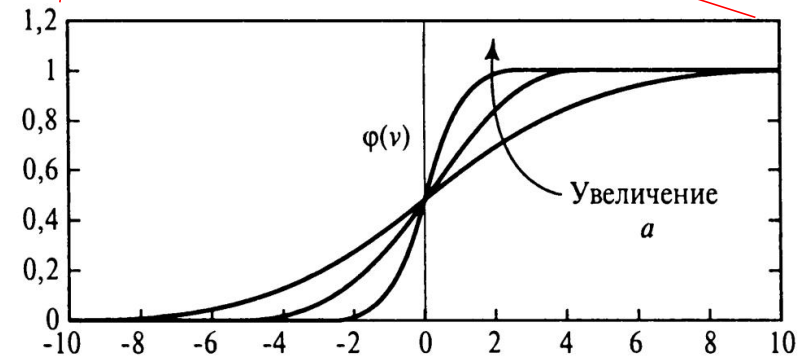
Входной
слой

Слой скрытых
нейронов

Выходной слой
нейронов



Нелинейная модель
нейрона

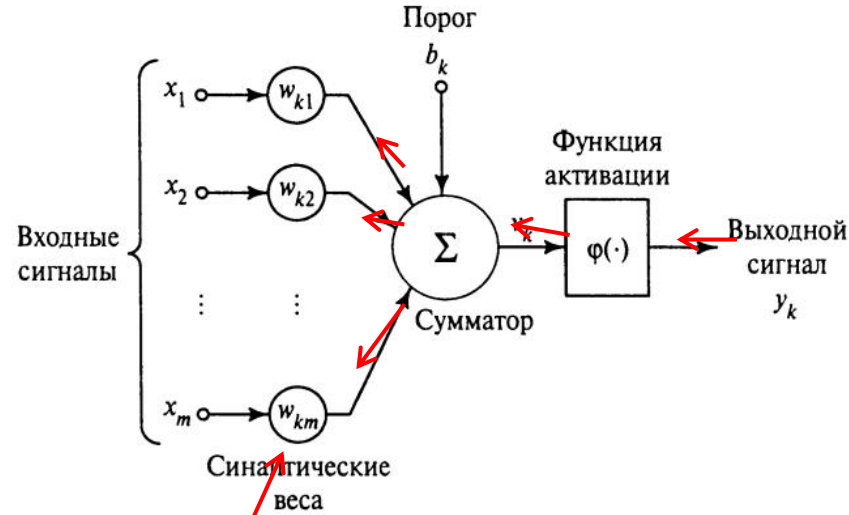
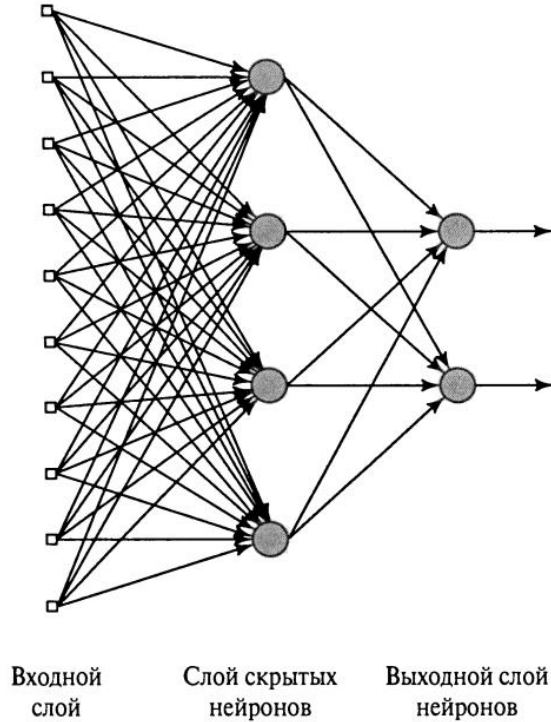


Сигмоидальная функция для различных
значений параметра a

ИНС Искусственная нейронная сеть

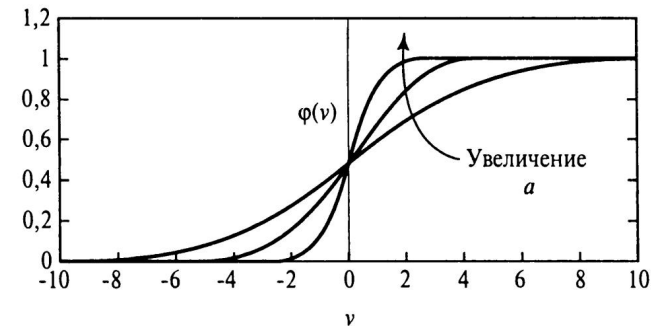
ANN Artificial Neural Network

Полносвязная сеть прямого распространения с одним скрытым и одним выходным слоем.



случайные веса в начале тренировки

сравнение с
желаемым
результатом



Архитектура сети

Входной слой

Rrs 412

Rrs 443

Rrs 490

Rrs 510

Rrs 560

Rrs 665

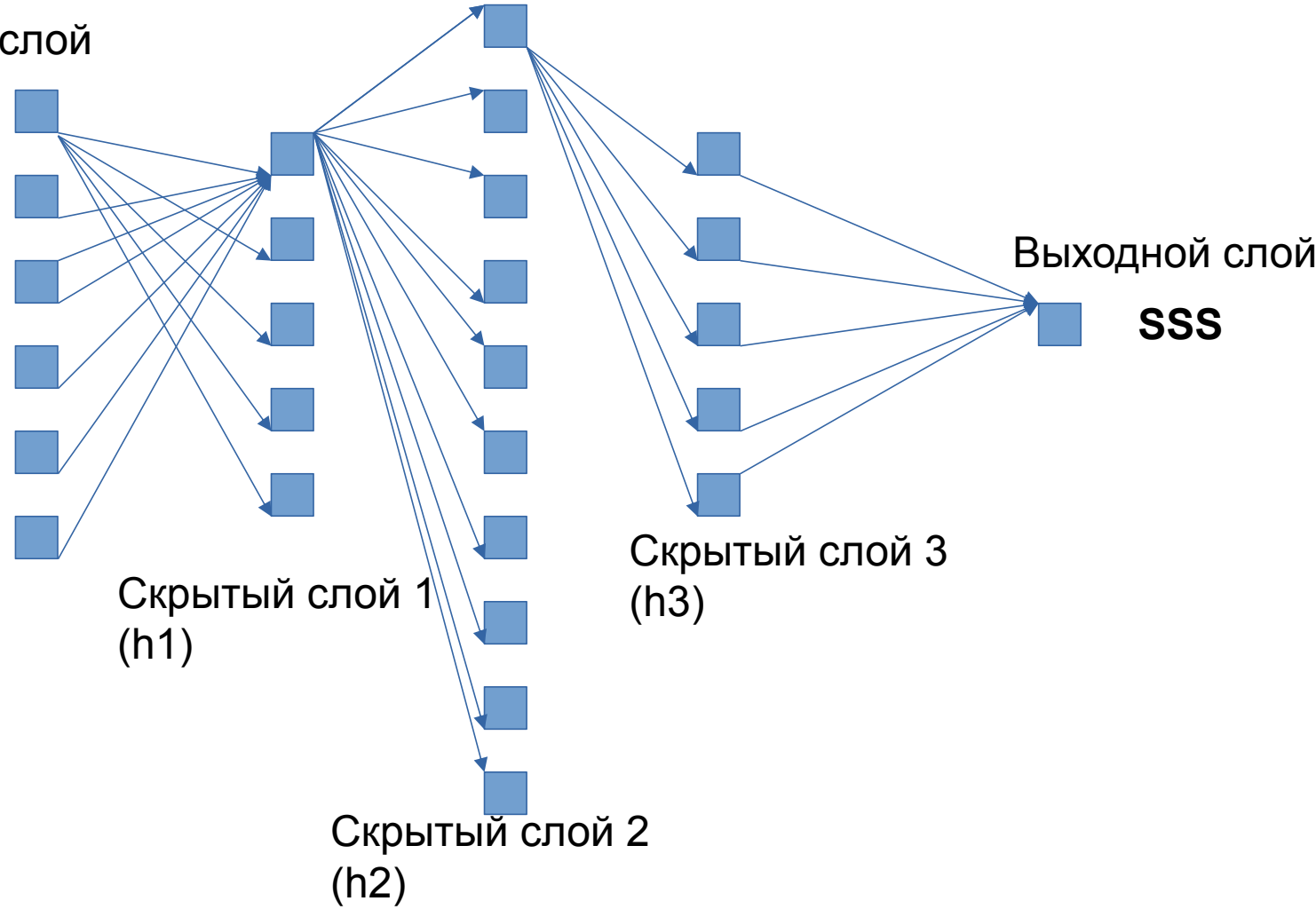
Скрытый слой 1
(h1)

Скрытый слой 2
(h2)

Скрытый слой 3
(h3)

Выходной слой

SSS



Архитектура сети

Входной слой

Rrs 412

Rrs 443

Rrs 490

Rrs 510

Rrs 560

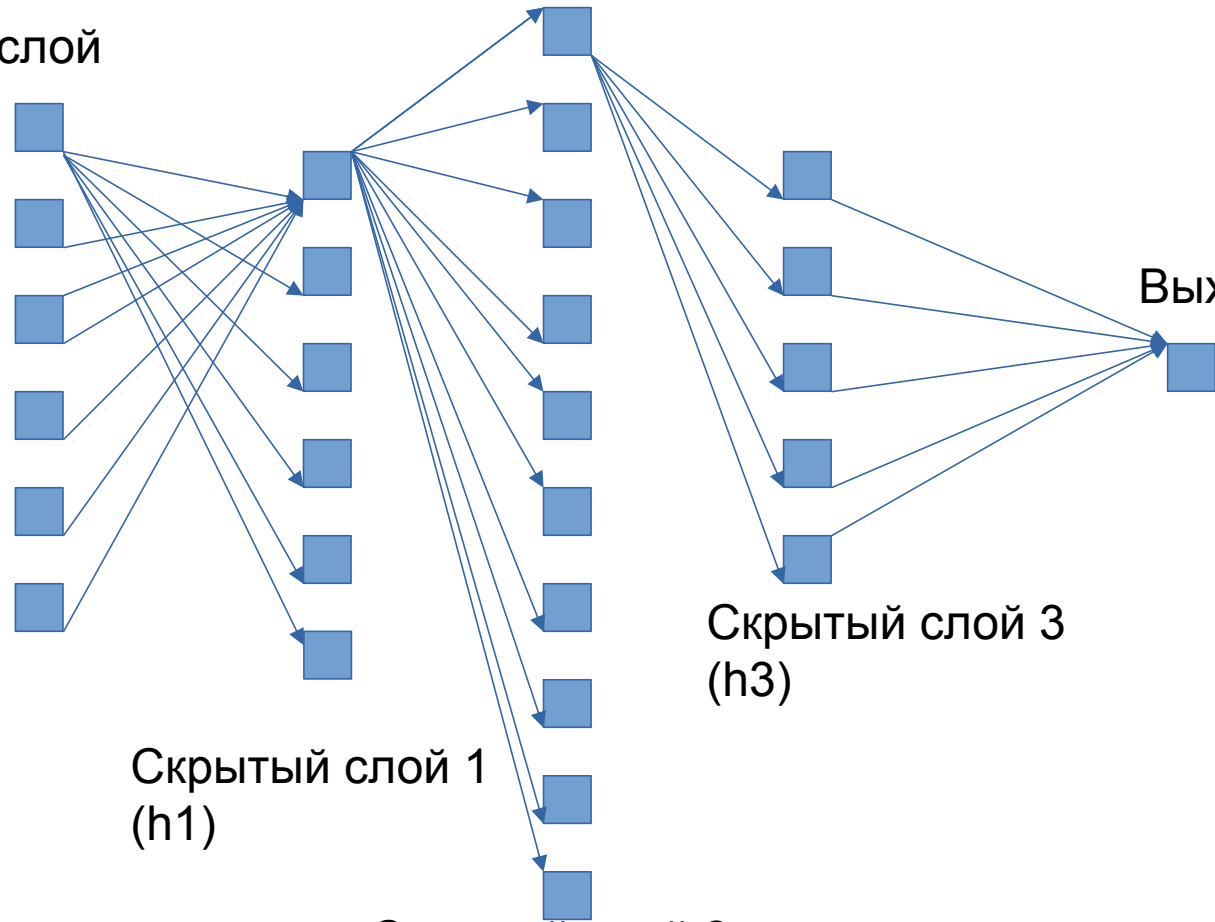
Rrs 665

Скрытый слой 1
(h1)

Скрытый слой 2
(h2)

Скрытый слой 3
(h3)

Выходной слой
SSS



Архитектура сети

Входной слой : 6 (Rrs 412, 443, 490, 510, 560, 665 nm)

Скрытый слой 1: 5, 10, 15, 20, 30

Скрытый слой 2: 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70

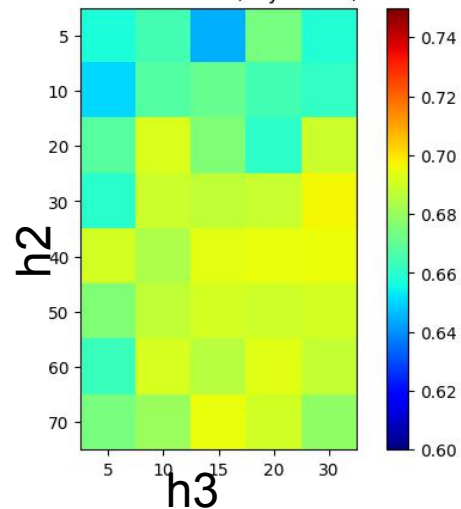
Скрытый слой 3: 5, 10, 15, 20, 30

Выходной слой : 1 (SSS)

Результаты тренировки, коэффициент корреляции (r)

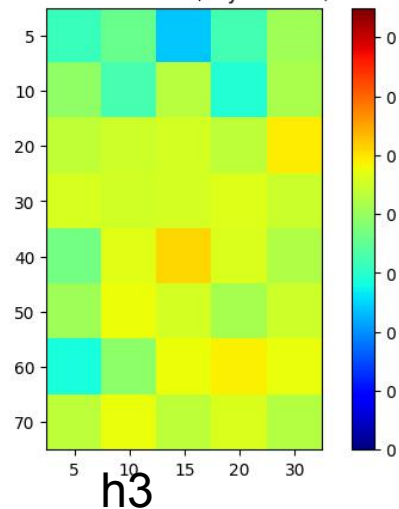
$h1 = 5$

test dataset corrcoeff, layer h1-5, 8000



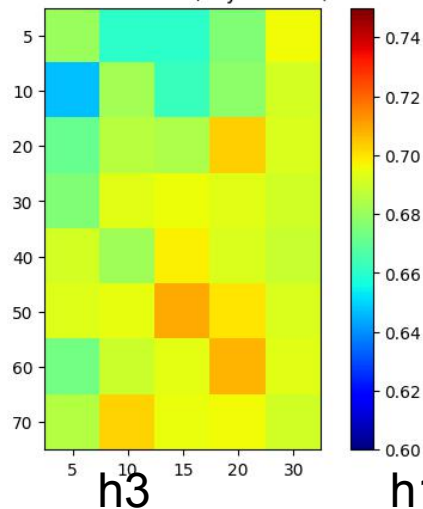
$h1 = 10$

test dataset corrcoeff, layer h1-10, 8000



$h1 = 15$

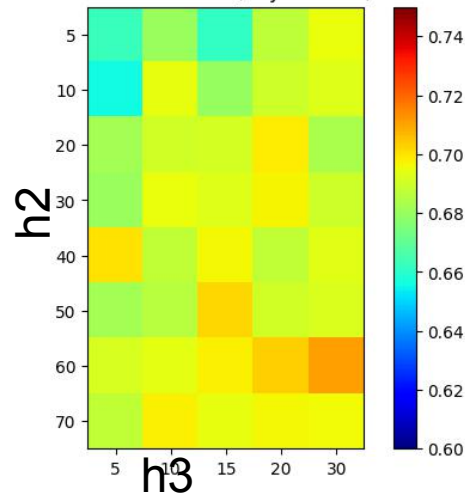
test dataset corrcoeff, layer h1-15, 8000



16000 циклов тренировки

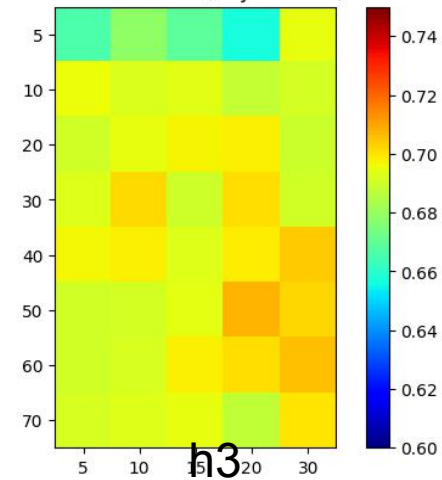
$h1 = 20$

test dataset corrcoeff, layer h1-20, 8000



$h1 = 30$

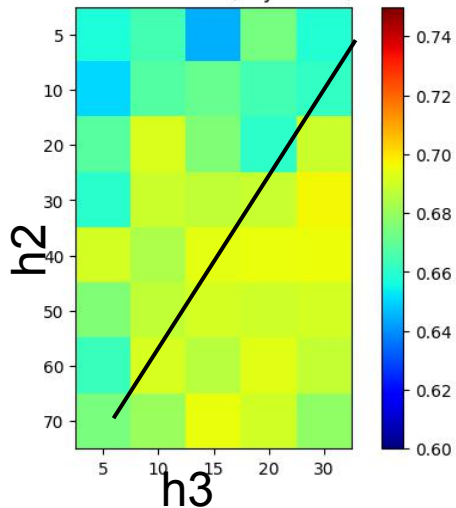
test dataset corrcoeff, layer h1-30, 8000



Результаты тренировки, коэффициент корреляции (r)

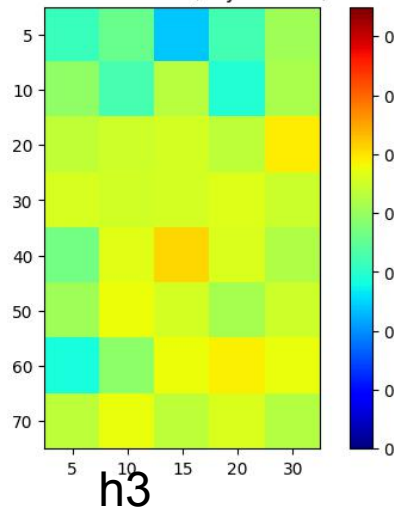
$h1 = 5$

test dataset corrcoeff, layer h1-5, 8000



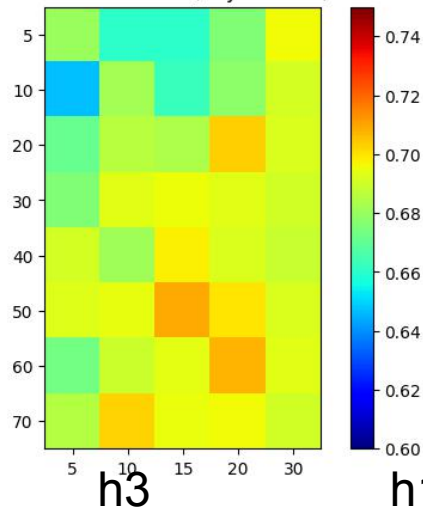
$h1 = 10$

test dataset corrcoeff, layer h1-10, 8000



$h1 = 15$

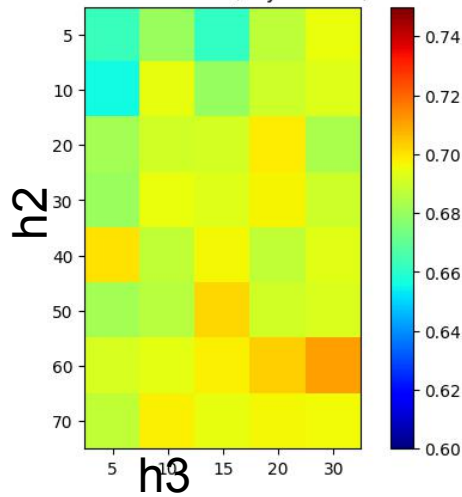
test dataset corrcoeff, layer h1-15, 8000



16000 циклов тренировки

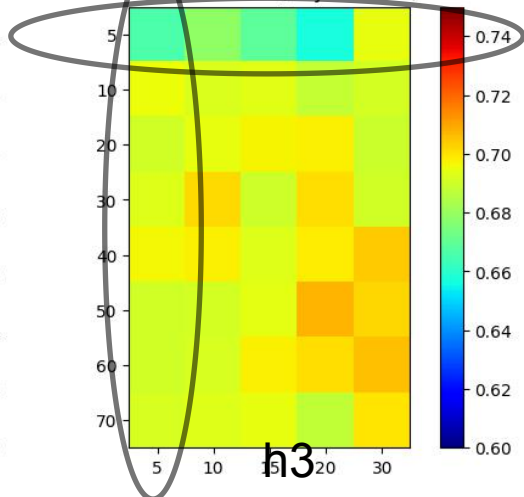
$h1 = 20$

test dataset corrcoeff, layer h1-20, 8000



$h1 = 30$

test dataset corrcoeff, layer h1-30, 8000



Вывод

Ни в каком скрытом слое нейронов не должно быть слишком мало

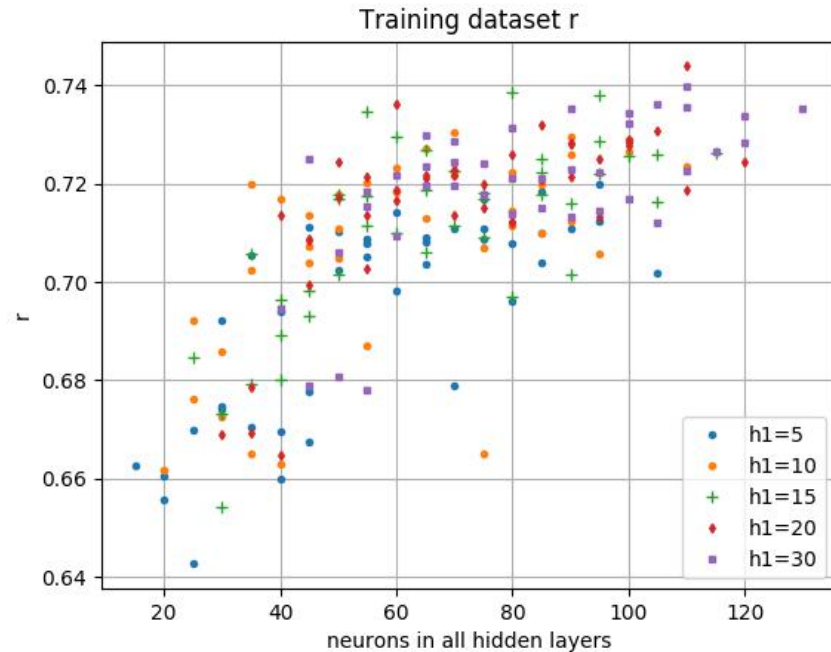
Слишком мало это 5 или 10 (во входном слое 6 в выходном 1)

Не должно быть больших различий в размере соседних слоев

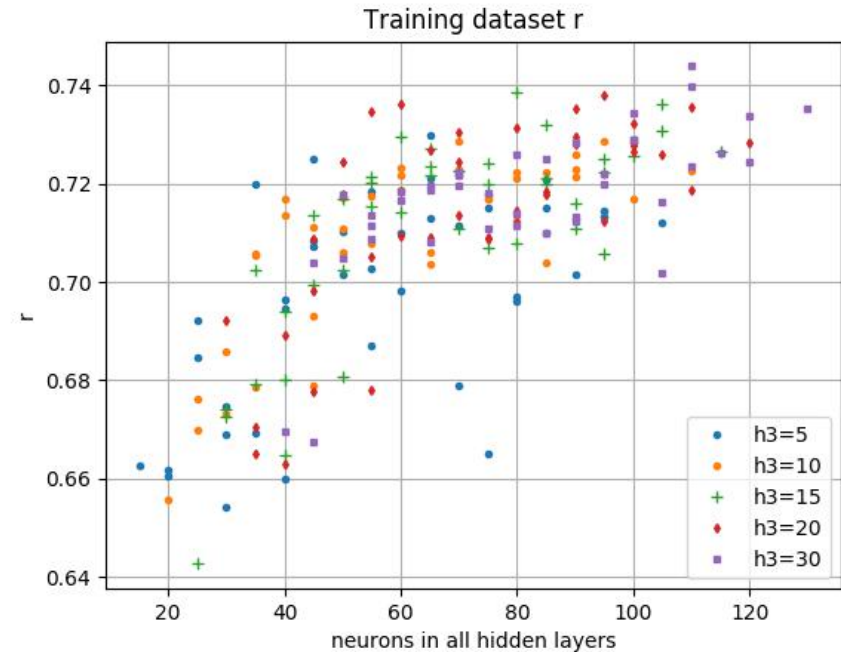
Зависимость коэффициента корреляции от числа нейронов Dependence of correlation coefficient on the number of neurons

r , training dataset

Colour shows hidden layer 1



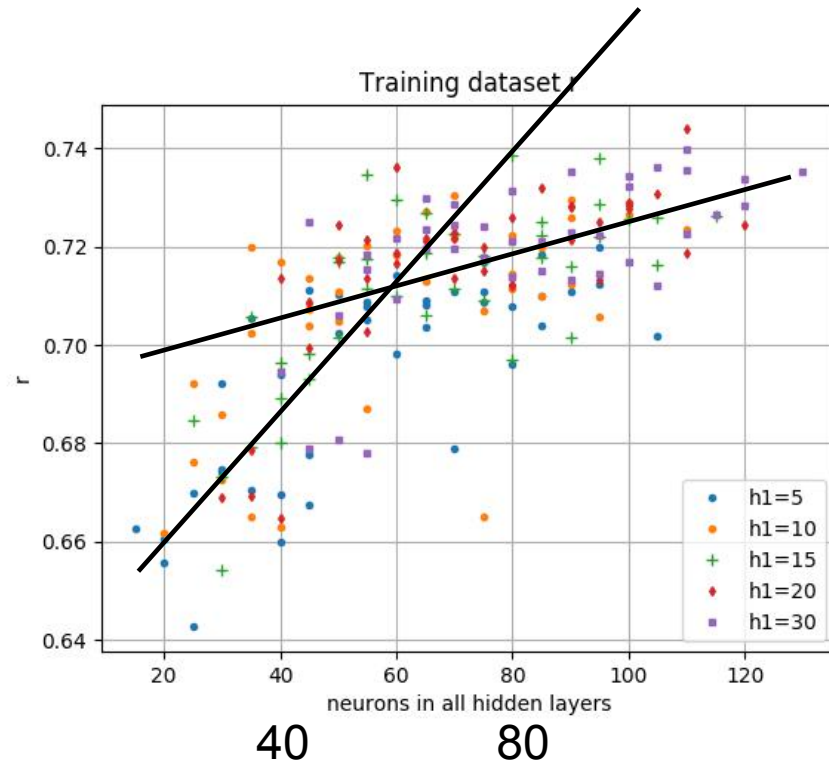
Colour shows hidden layer 3



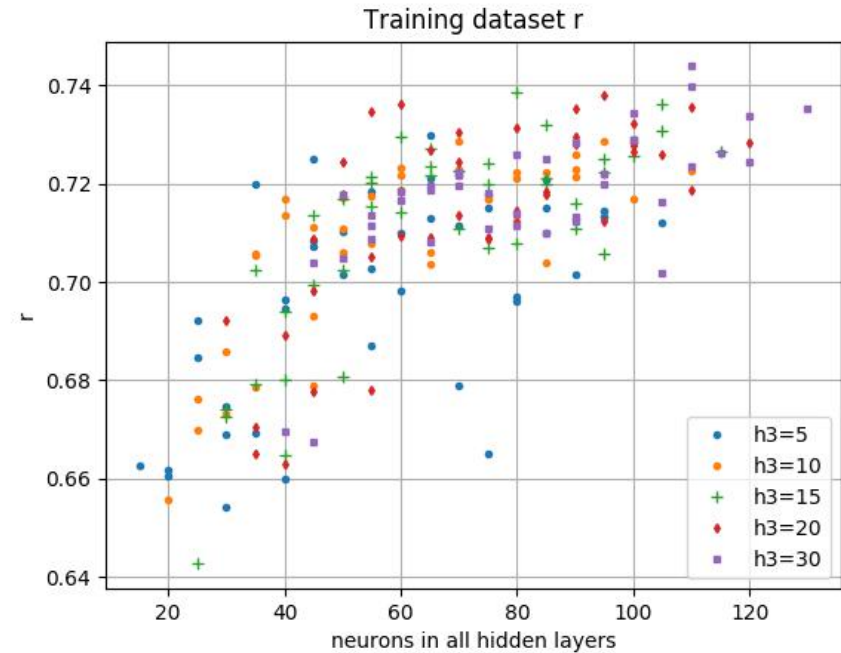
Зависимость коэффициента корреляции от числа нейронов Dependence of correlation coefficient on the number of neurons

r , training dataset

Colour shows hidden layer 1



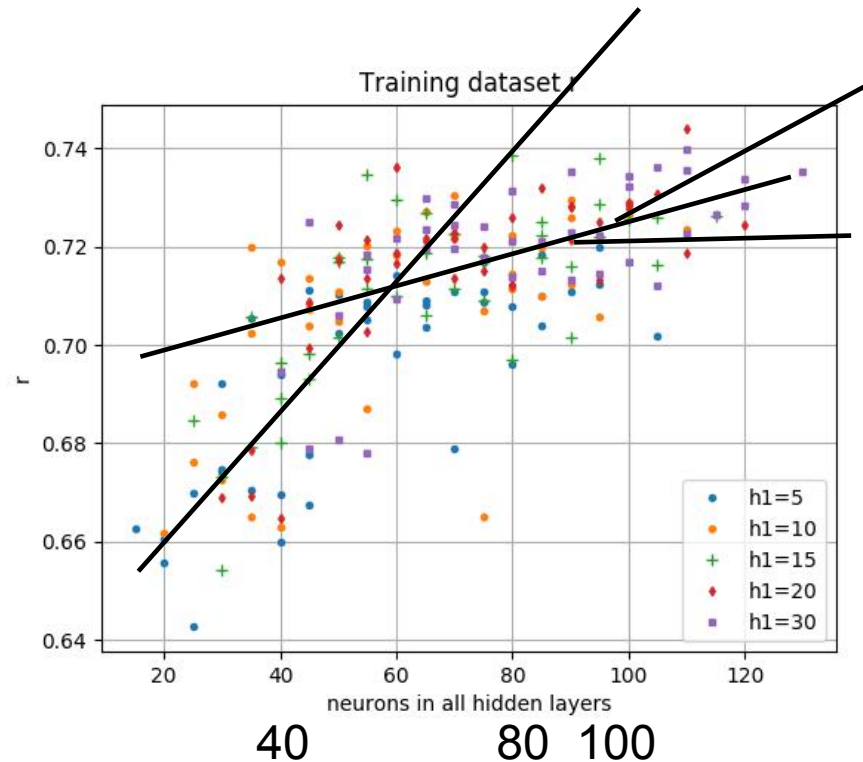
Colour shows hidden layer 3



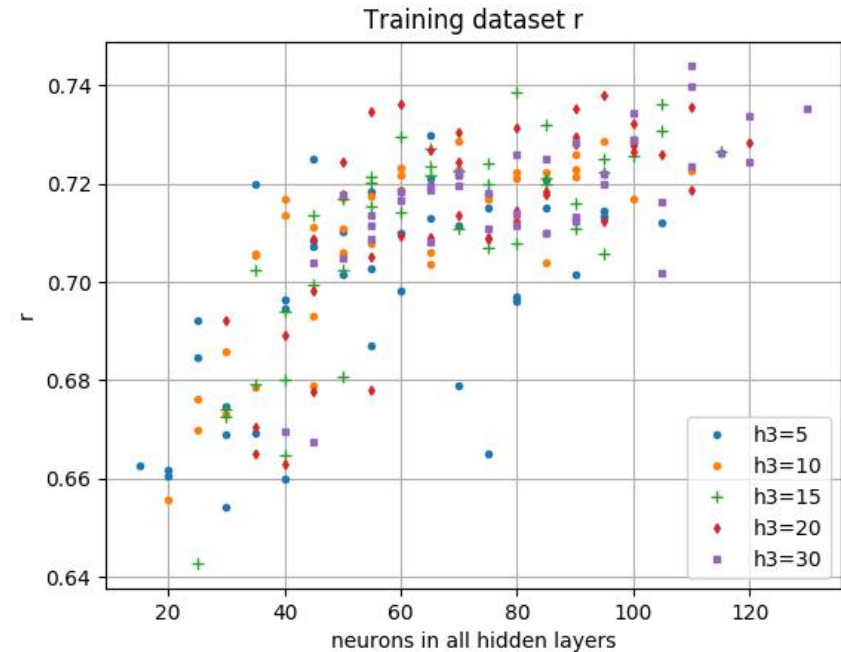
Зависимость коэффициента корреляции от числа нейронов Dependence of correlation coefficient on the number of neurons

r , training dataset

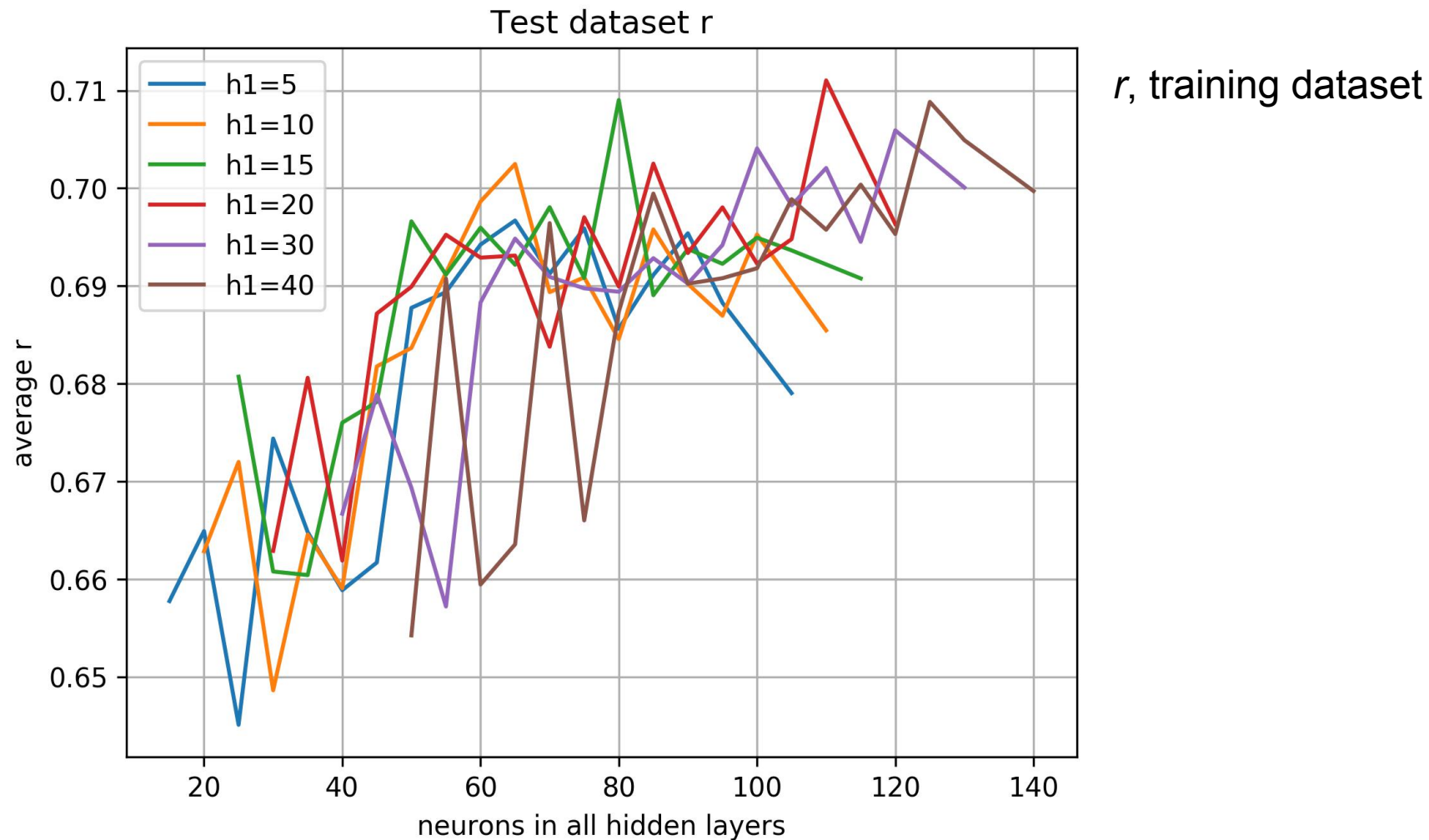
Colour shows hidden layer 1



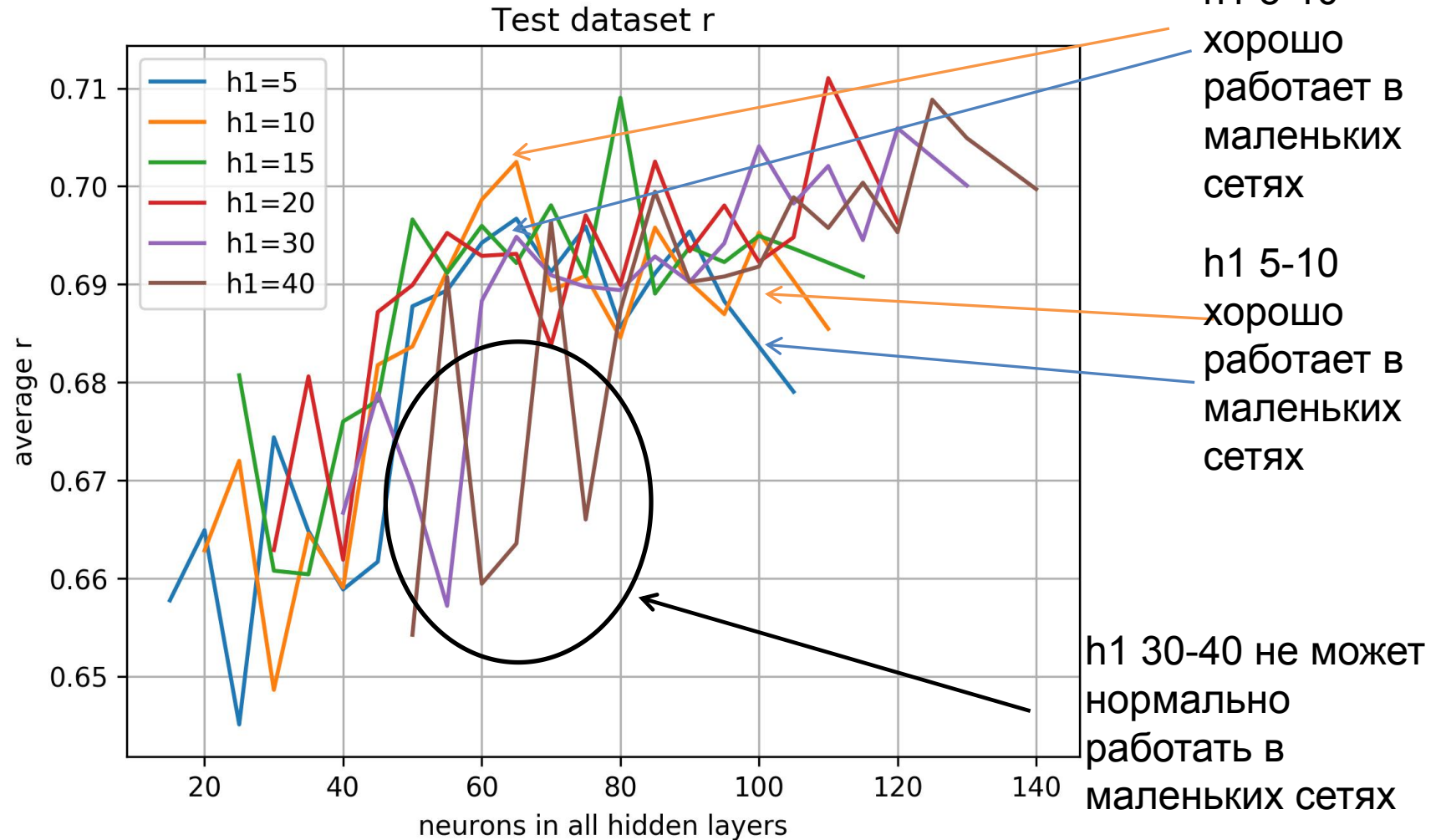
Colour shows hidden layer 3



Зависимость коэффициента корреляции от числа нейронов Dependence of correlation coefficient on the number of neurons



Зависимость коэффициента корреляции от числа нейронов Dependence of correlation coefficient on the number of neurons



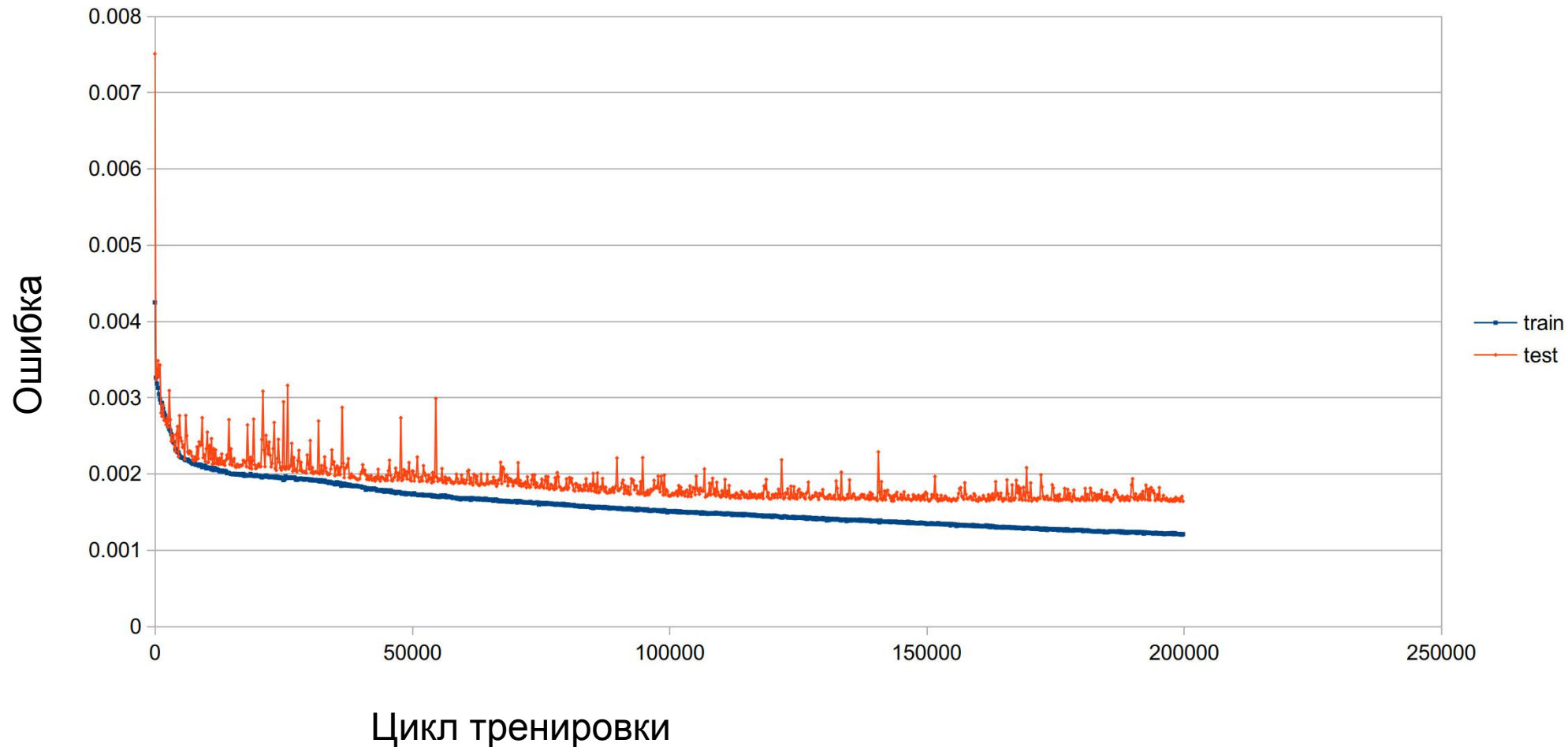
Вывод

Суммарное число нейронов в скрытых слоях должно быть меньше 80-100

Суммарное число нейронов в скрытых слоях должно быть больше 40

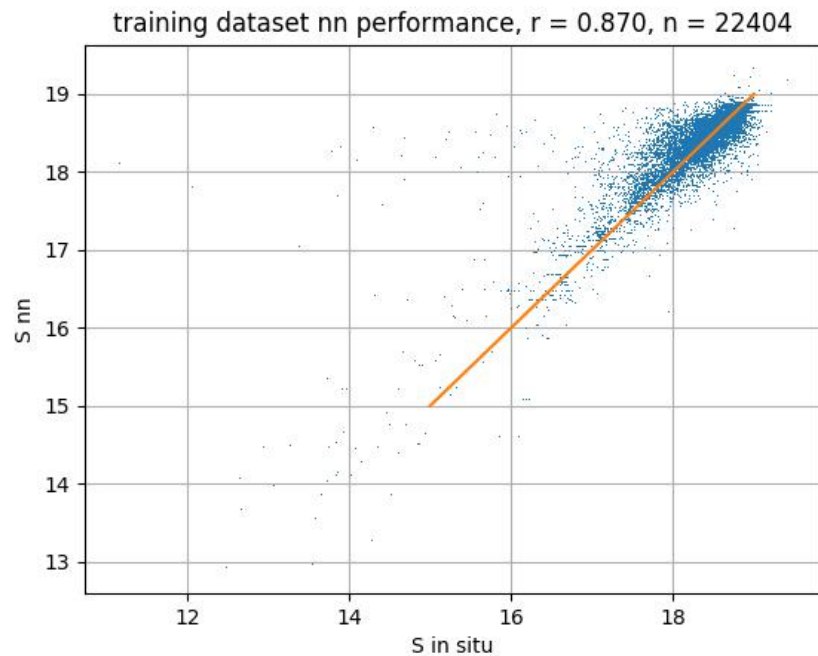
Не должно быть “дисбаланса” в размере скрытых слоев (уже было)

Полная тренировка

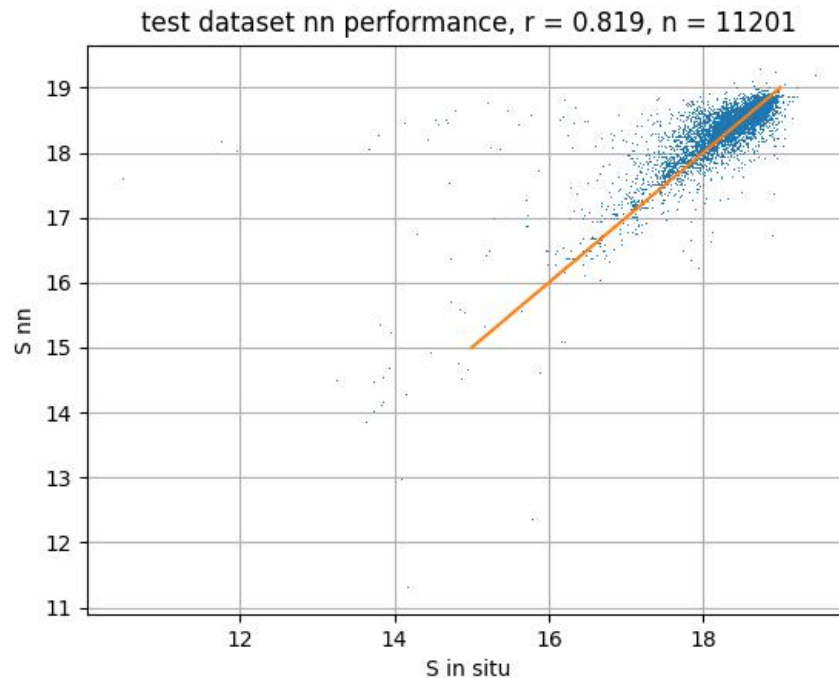


15-30-15

Тренировочный



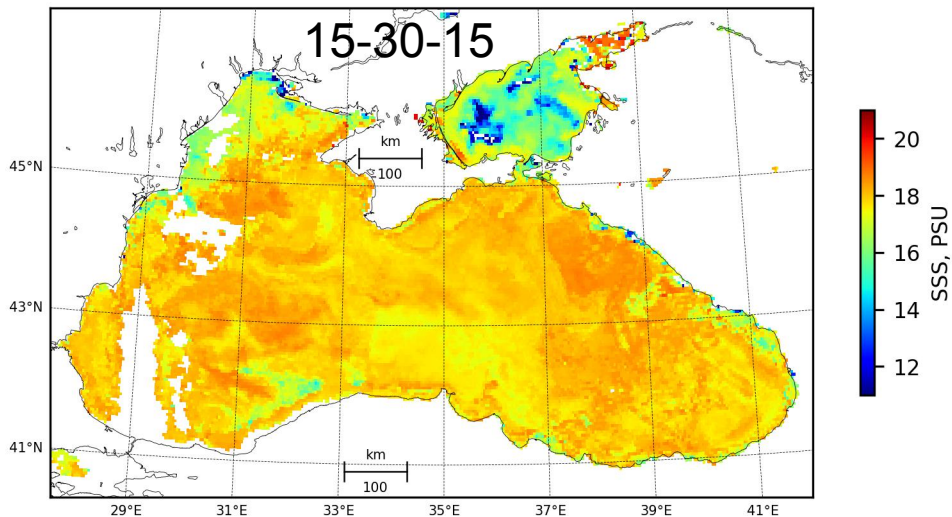
Тестовый



	15-30-15	20-60-20	30-70-30	20-20
Тренировочный	0.879	0.890	0.897	0.786
Тестовый	0.819	0.835	0.827	0.759
Разница	0.06	0.055	0.07	0.027

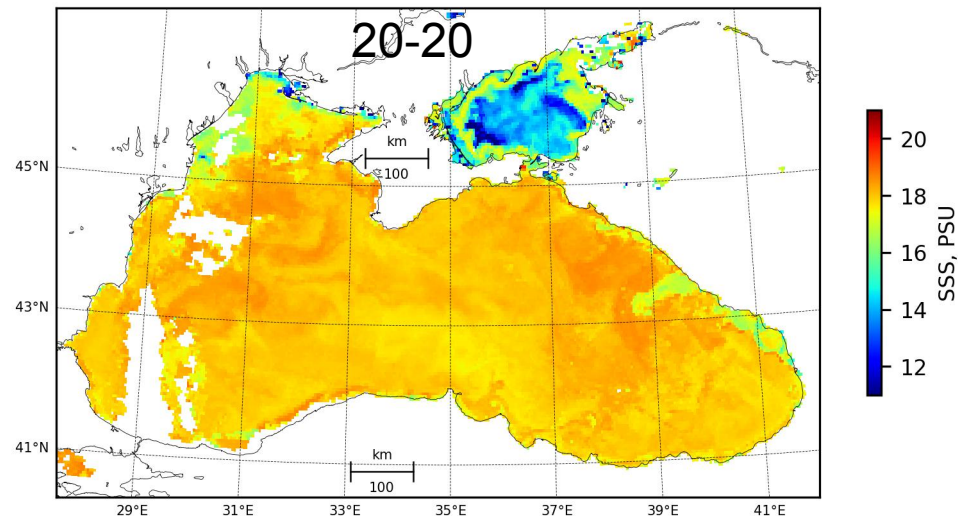
Применение сетей

Sea Surface Salinity, 2009-0624

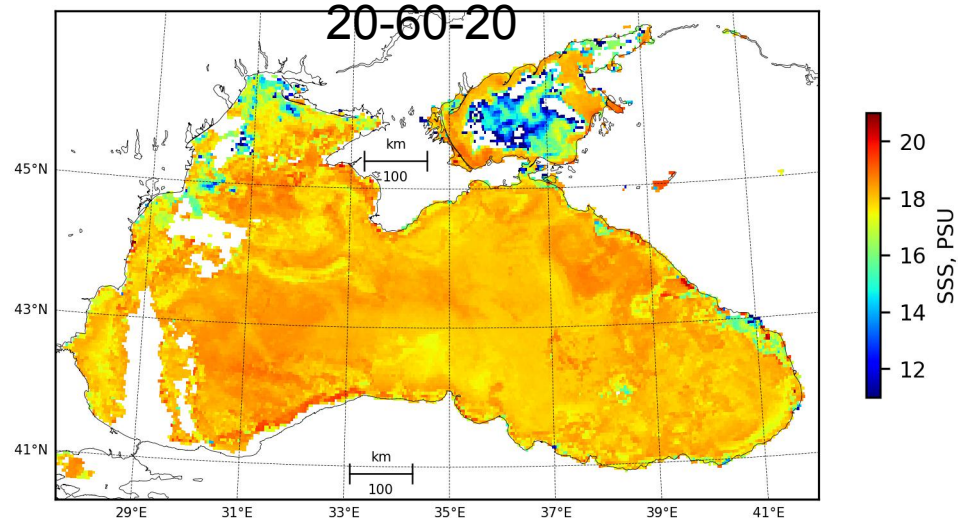


2009
June
24

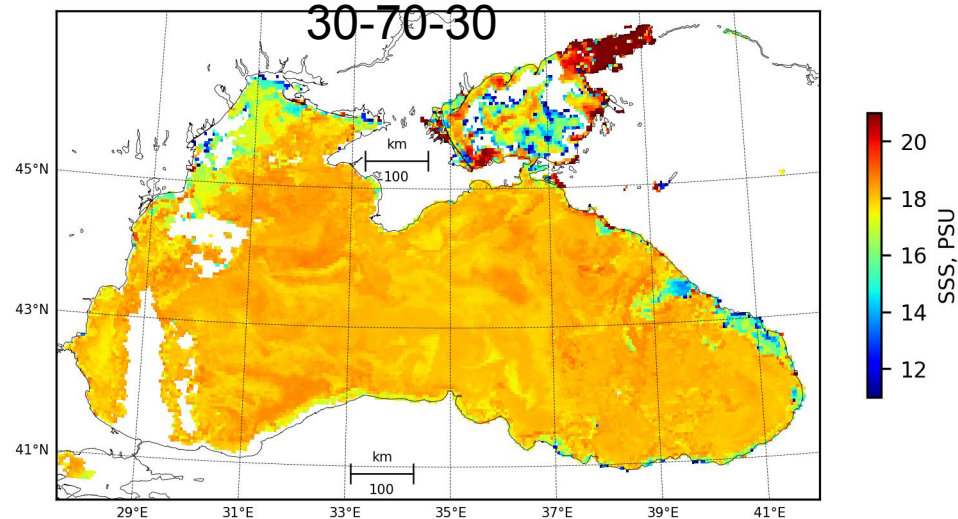
Sea Surface Salinity, 2009-0624



20-60-20



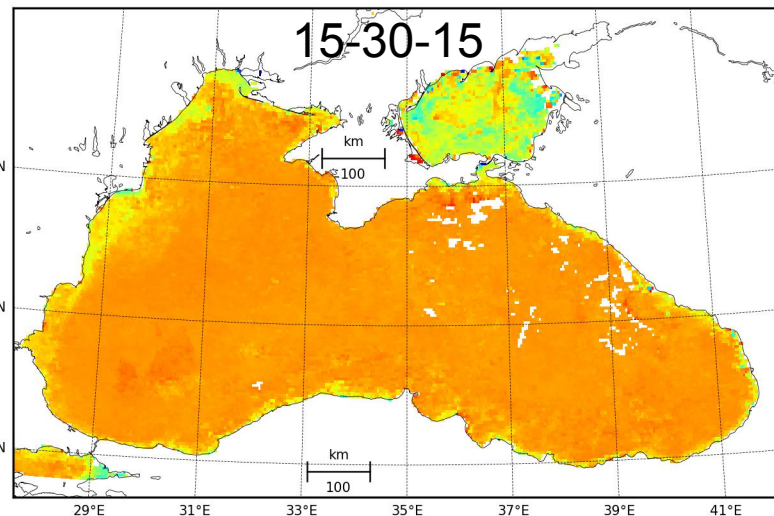
30-70-30



Применение сетей

Sea Surface Salinity, 2016-01

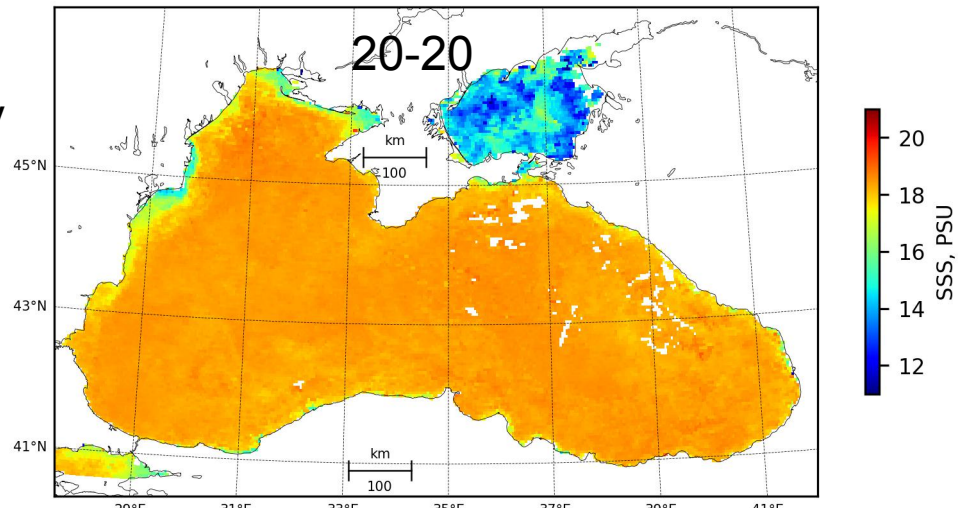
15-30-15



2016
January

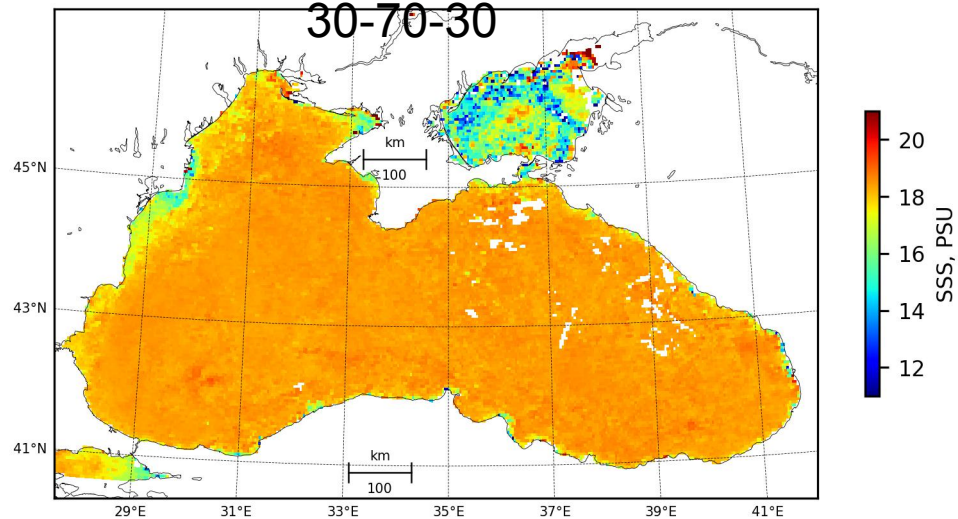
Sea Surface Salinity, 2016-01

20-20

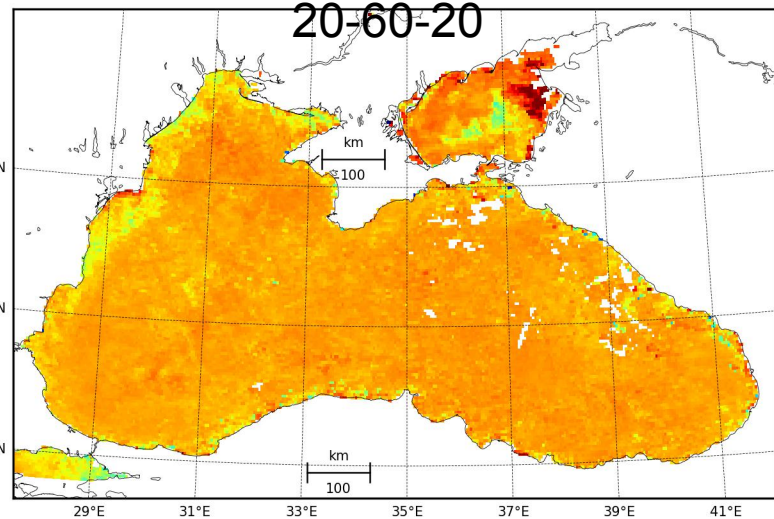


Sea Surface Salinity, 2016-01

30-70-30

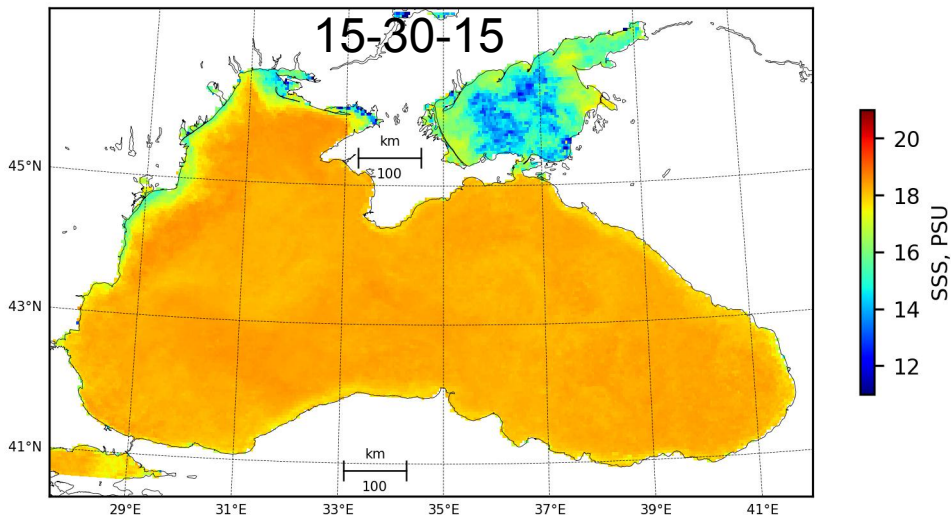


20-60-20



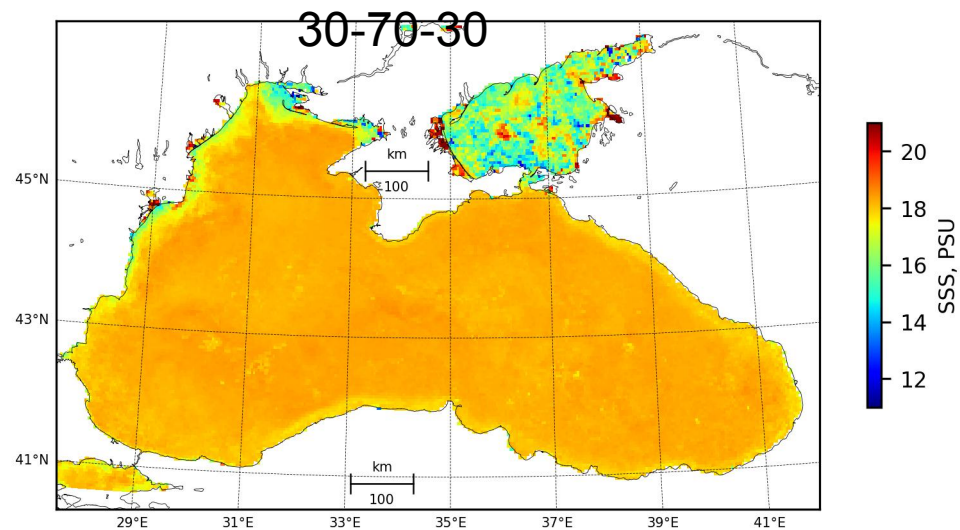
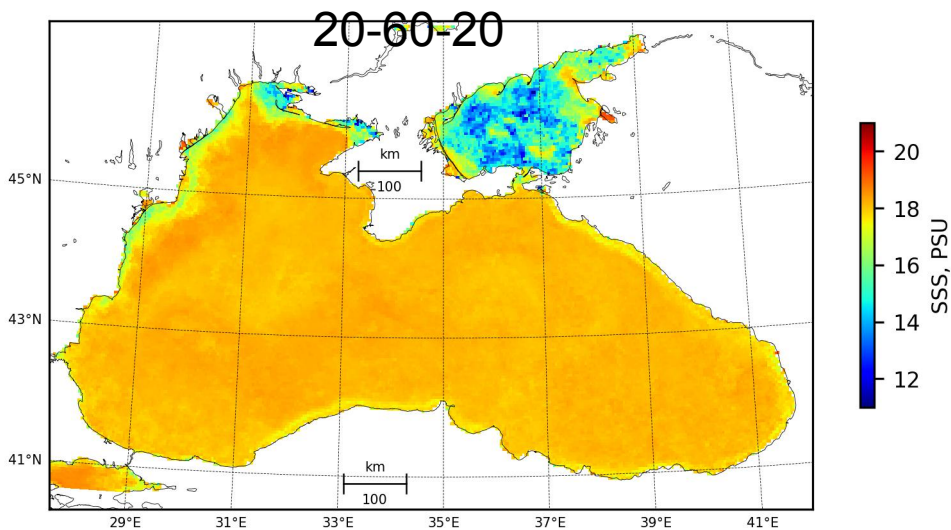
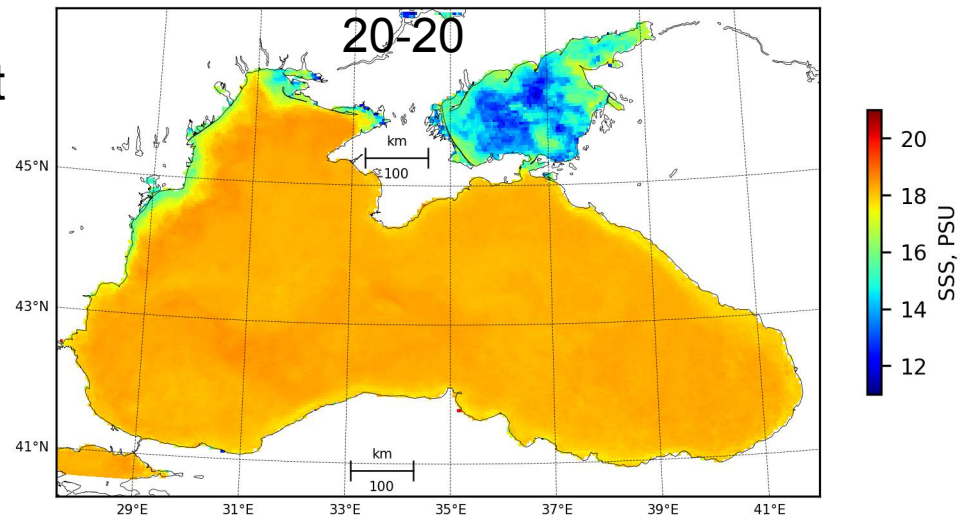
Применение сетей

Sea Surface Salinity, 2016-08



2016
August

Sea Surface Salinity, 2016-08



Вывод

Возможно, нужно было начать с 2 скрытых слоев

Выводы

- Ни в каком отдельном скрытом слое нейронов не должно быть слишком мало
- Не должно быть больших различий (“дисбаланса”) в размере соседних слоев
- Суммарное число нейронов в скрытых слоях должно быть меньше 80-100
- Суммарное число нейронов в скрытых слоях должно быть больше 40

Для окончательного выбора архитектуры сети и натренированной сети, необходимо использование дополнительной информации, например, анализ пространственных распределений и полученных на основе сети климатических значений

Необходимо проведение множественных экспериментов для сглаживания случайностей в тренировке сетей

Желательна более длительная тренировка на этапе перебора сетей (например не 16000, а 30000)

Спасибо за внимание!

Вопросы

Полезное

- Neural Networks: A Comprehensive Foundation Subsequent Edition, Simon Haykin
- <https://www.oceanopticsbook.info/> , Curtis Mobley, Emmanuel Boss, Collin Roesler
- <https://www.oceancolour.org/> OceanColour - CCI Merged Dataset
- <https://ioccg.org/what-we-do/ioccg-publications/ioccg-reports/> , IOCCG Reports