

# Системы высокопроизводительных вычислений в 2019–2020 годах: обзор достижений и анализ рынков

## Часть III. Суперкомпьютеры

Сергей Павлов, Dr. Phys.

Внимание читателей предлагается третья часть обзора систем высокопроизводительных вычислений (ВПВ) или *High-Performance Computing (HPC)*. В этом году уже опубликованы первая [1] и вторая [2] части очередного комплексного обзора, выходящего под привычной общей “шапкой”.

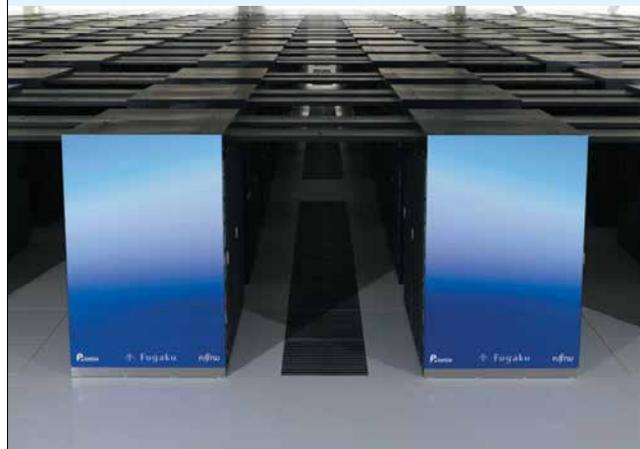
В третьей части обсуждаются данные, фиксируемые в мировом суперкомпьютерном рейтинге **Top500** ([www.top500.org](http://www.top500.org)), который впервые был составлен 27 лет назад. Актуальные списки публикуются два раза в год – в июне и ноябре; новейший, 55-й список был представлен 22 июня 2020 года на ежегодной конференции *ISC High Performance*, которая в условиях пандемии коронавируса проводилась в режиме онлайн. Напомним, что традиционным местом, где проводится конференция, является Франкфурт (Германия).

При изложении результатов развития мировой суперкомпьютерной отрасли практически полностью сохранена структура части III прошлогоднего обзора [3]. Все ранее подготовленные публикации на эту тему (а мы анализируем аккумулируемые в этом рейтинге данные с 2005 года), по-прежнему свободно доступны на нашем сайте [www.cad-cam-cae.ru](http://www.cad-cam-cae.ru) (см. список публикаций в [3]).

В настоящей, 3-й части обзора вся актуализированная информация распределена по девяти разделам:

- 1 Некоторые новости мировой экономики в условиях пандемии
  - Совокупный государственный долг человечества
  - Государственный долг США
  - Цена на нефть
- 2 Интегральные показатели рейтинга *Top500*
- 3 Лидеры рейтинга *Top500*:
  - Новый лидер – японский суперкомпьютер *Fugaku*
  - Горячая десятка
  - Былые рекордсмены еще в строю
  - Лучшие производители лучших систем
- 4 Области применения систем ВПВ
- 5 Региональный срез рейтинга *Top500*
  - США
  - Китай
  - Япония
  - Евросоюз
  - Россия
- 6 Ведущие производители суперкомпьютеров
- 7 Число процессорных ядер в суперкомпьютерах

*Supercomputers Fugaku (Japan), the champion of world's Top500 rate in June 2020, is based on 48-core 64-bit ARM-processor Fujitsu A64FX with clock frequency 2.2 GHz. Total number of cores is 7 299 072. Fugaku system with real speed 415.53 Pflops reached 500-Pflops-level of peak speed for the first time in the world – 513.8547 Pflops*



Источник: RIKEN

*Суперкомпьютер Fugaku (Япония), ставший лидером рейтинга Top500 в июне 2020 года, построен на базе 48-ядерных 64-разрядных ARM-процессоров Fujitsu A64FX с тактовой частотой 2.2 GHz. Общее число процессорных ядер составляет 7 299 072. Система Fugaku с реальным быстродействием 415.53 Pflops впервые в мире преодолела рубеж в 500 Pflops пикового быстродействия – 513.8547 Pflops*

- 8 Суперкомпьютеры с гибридной архитектурой
- 9 Ведущие производители процессоров для суперкомпьютеров.

### 1. Некоторые новости мировой экономики в условиях пандемии

Для затравки зафиксируем некоторые важные индикаторы мировой экономики. Предыдущие данные рассматривались в первой [1] и второй [2] частях нашего обзора.

#### ✓ Совокупный государственный долг человечества

По прогнозу Международного валютного фонда (ВМФ), совокупный государственный долг всех стран мира в 2020 году достигнет 101.5% от

глобального валового внутреннего продукта (ВВП), что является самым высоким показателем за всю документированную историю и превышает предыдущий пик, достигнутый после II мировой войны.

Для стран с развитой экономикой этот показатель в 2020 году составит ~125%, а для стран с развивающимися экономиками ~60%.

С подробностями, включая методику оценки, можно ознакомиться в публикации по ссылке: <https://blogs.imf.org/2020/07/10/fiscal-policies-for-a-transformed-world> (в том числе и на русском языке).

### ✓ Государственный долг США

По состоянию на июнь 2020 года государственный долг США вырос до 26.477 трлн. долларов. Напомним, что в мае 2020 года этот показатель составлял 25.746 трлн. долларов ([tradingeconomics.com/usa/government-debt](https://tradingeconomics.com/usa/government-debt)).

### ✓ Цена на нефть

Цена нефти марки *Brent* на 19.07.2020 г. составляла 43.14 USD/bbl; марки *Urals* – 42.6 USD/bbl; марки *WTI* – 40.59 USD/bbl (<https://oilprice.com/Russia/Neftnyye-kotirovki>). Восстановим в памяти ситуацию месячной давности: на 11.06.2020 г. цена нефти марки *Urals* составляла 40.75 USD/bbl; марки *Brent* – 38.55 USD/bbl; марки *WTI* – 36.34 USD/bbl.

## 2. Интегральные показатели рейтинга Top500

Суммарная производительность систем, включенных в 55-й список *Top500*, увеличилась в сравнении с показателями, обнародованными полгода назад в 54-м списке, на +33.96%: с 1646.9 до 2206.1 петафлопсов или до 2.2061 эксафлопсов (*Eflops*). Отметим, что суммарная производительность превысила 1 эксафлопс еще в 51-м списке.

При сравнении 55-го списка с 53-м (1415.0 *Pflops*) получается, что за год прирост составил +41.4%. Если сравнить данные 53-го списка и 51-го (1210.9 *Pflops*), то видно, что два года назад прирост был меньше – всего +28.8%.

Суммарная производительность суперкомпьютеров, включаемых в *Top500*, за год выросла на +41.4% и достигла 2.2061 *Eflops* (55-й список, июнь 2020 г.).

Еще один важный момент: проходной балл в 55-й список достиг величины 1.23 *Pflops* реального (по *LINPACK*) быстродействия. Перечень обладателей суперкомпьютеров уровня *Top500* включает 28 стран.

По состоянию на июнь 2020 года, количество стран, обладающих суперкомпьютерами уровня *Top500*, составляет 28. Все вычислители, включенные в 55-й список, демонстрируют реальное быстродействие не менее 23 петафлопсов.

Впервые все пять сотен лучших суперкомпьютеров оказались “петафлопсниками” в июне 2019 года, когда проходной балл в 53-й список составил 1.022 *Pflops* для реального быстродействия.

## 3. Лидеры рейтинга Top500

### 3.1 Новый лидер – японский суперкомпьютер *Fugaku*

В июне 2020 года 55-й список рейтинга *Top500* возглавил японский суперкомпьютер *Fugaku* (см. фото). Этот супервычислитель построен в Институте физико-химических исследований (*RIKEN*) в городе Кобе компанией *Fujitsu*.

Новая система обновила рекорд по реальной производительности – 415.53 *Pflops*. Рекорд зафиксирован и для пиковой производительности – 513.8547 *Pflops* (табл. 1). Таким образом, формально можно считать, что эта система первой в истории сделала полшага к знаковому рубежу 1 эксафлопс.

Вычислительная эффективность *Fugaku* составляет 80.87%, а энергоэффективность (14.665 *Gflops/W*) соответствует 9-му месту в рейтинге *Green500*.

Лидер 55-го списка, японский суперкомпьютер *Fugaku*, обновил рекорд по реальному быстродействию – 415.53 *Pflops*. Пиковое быстродействие впервые в мире преодолело полуксафлопсный рубеж – 513.8547 *Pflops*.

Впервые рекордсменом мирового суперкомпьютеростроения стала система на базе процессоров, поддерживающих систему команд *ARM*. Новый 64-разрядный процессор *Fujitsu A64FX*, имеющий 48 вычислительных ядер, был представлен в конце августа 2018 года на конференции *Hot Chips 30* в Кремниевой долине (шт. Калифорния), о чём мы писали в нашем позапрошлом обзоре [4].

Общее число вычислительных ядер супервычислителя-рекордсмена *Fugaku* составляет 7 299 072, а общее число процессоров *Fujitsu A64FX* исчисляется внушительной величиной в 152 064 штуки.

Супервычислитель-рекордсмен *Fugaku* построен на 48-ядерных *ARM*-процессорах *Fujitsu A64FX* в количестве 152 064 штуки и имеет в общей сложности 7 299 072 ядра.

Отметим, что *Fugaku* лидирует в 55-м списке очень уверенно, с солидным отрывом от предыдущего чемпиона – американской системы *Summit*, возглавлявшей рейтинг *Top500*, начиная с 51-го списка:

- по реальной производительности – почти в 2.8 раза;
- по пиковой производительности – почти в 2.6 раза.

Таблица 1. Первая десятка международного суперкомпьютерного рейтинга *Тор500* в июне 2020 года

Место в рейтинге <i>Тор500</i> (55-й список)	Реальная производительность, <i>Pflops</i>	Общее число процессорных ядер	Название компьютера, архитектура, применяемые процессоры и ускорители	Компания-производитель	Организация, где установлен суперкомпьютер	Место в рейтинге <i>Green500</i>	Энергоэффективность, <i>Gflops/W</i>	Место в рейтинге <i>НПСС*</i>	Производительность, <i>Tflops</i>
1	415.53	7 299 072	<b>Fugaku</b> Fujitsu A64FX (48 ядер, 2.2 GHz)	Fujitsu (Япония)	Институт физико-химических исследований (Кобе, Япония)	9	14.665	1	13366.4
2	148.6	2 414 592	<b>Summit</b> (IBM Power System AC922) IBM POWER9 (22 ядра, 3.1 GHz) NVIDIA Volta GV100	IBM (США)	Окридская национальная лаборатория (шт. Теннеси, США)	8	14.719	2	2925.75
3	94.64	1 572 480	<b>Sierra</b> (IBM Power System AC922) IBM POWER9 (22 ядра, 3.1 GHz) NVIDIA Volta GV100	IBM (США)	Ливерморская национальная лаборатория им. Э. Лоуренса (шт. Калифорния, США)	12	12.723	3	1795.67
4	93.0146	10 649 600	<b>Sunway TaihuLight</b> Sunway SW26010 (260 ядер, 1.45 GHz)	NRCP (Китай)	Национальный суперкомпьютерный центр (Уси, Китай)	39	6.051	9	480.848
5	61.4445	4 981 760	<b>Tianhe-2A (TH-1VB-FEP)</b> Intel Xeon E5-2692v2 (12 ядер, 2.2 GHz) Matrix-2000	NUDT (Китай)	Национальный суперкомпьютерный центр (Гуанчжоу, Китай)	87	3.325	—	—
6	35.45	669 760	<b>HPC5 (Dell PowerEdge C4140)</b> Intel Xeon Gold 6252 (24 ядра, 2.2 GHz) NVIDIA Tesla V100	Dell EMC (США)	Eni (Италия)	6	15.740	4	860.32
7	27.58	272 800	<b>Selene</b> (NVIDIA DGX A100 SuperPOD) AMD EPYC 7742 (64 ядра, 2.25 GHz) NVIDIA A100	NVIDIA (США)	NVIDIA (США)	2	20.518	6	509.39
8	23.5164	448 448	<b>Frontera (Dell PowerEdge C6420)</b> Intel Xeon Platinum 8280 (28 ядер, 2.7 GHz)	Dell (США)	Техасский центр передовых компьютерных технологий (Остин, шт. Техас, США)	—	—	—	—
9	21.64	347 776	<b>Marconi-100</b> (IBM Power System AC922) IBM POWER9 (16 ядер, 3 GHz) Nvidia Volta V100	IBM (США)	CINECA (Италия)	10	14.661	—	—
10	21.23	387 872	<b>Piz Daint (Cray XC50)</b> Xeon E5-2690v3 (12 ядер, 2.6 GHz) NVIDIA Tesla P100	HPE+Cray (США)	Швейцарский национальный суперкомпьютерный центр (Лугано, Швейцария)	26	8.904	8	496.98
* High-Performance Conjugate Gradient Benchmark – новый метод сравнительного тестирования НПС-систем									

### 3.2 Горячая десятка

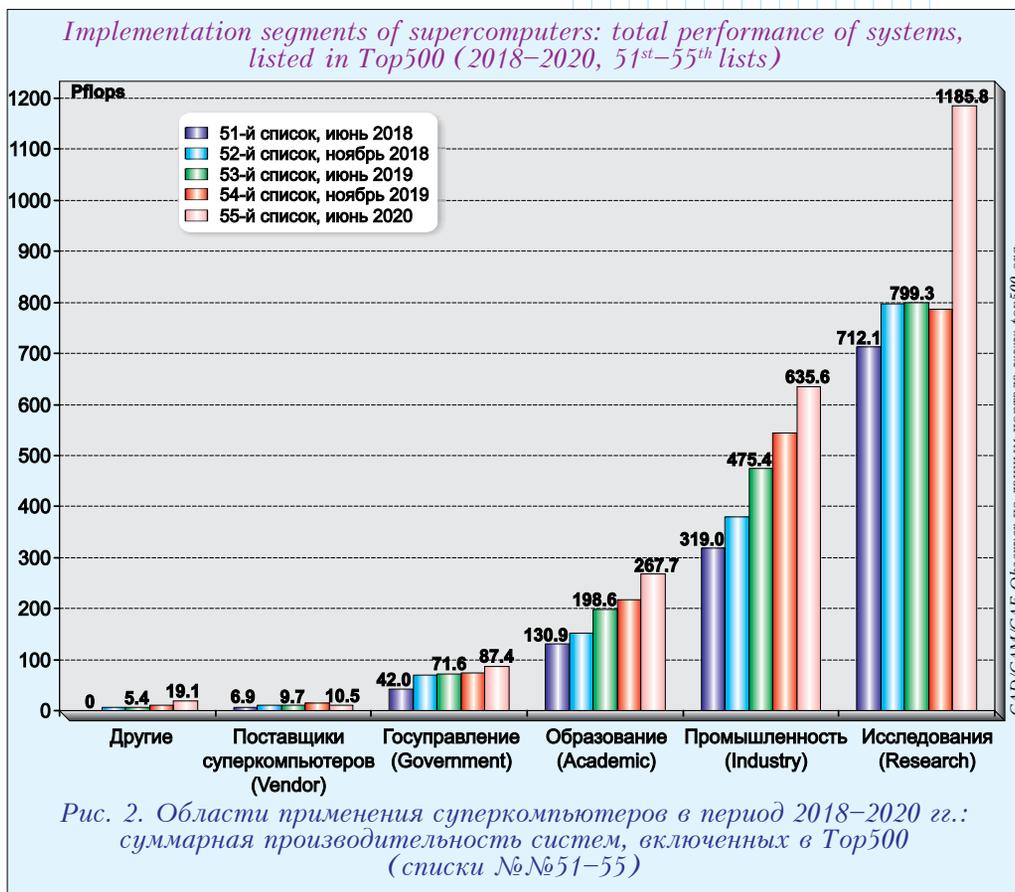
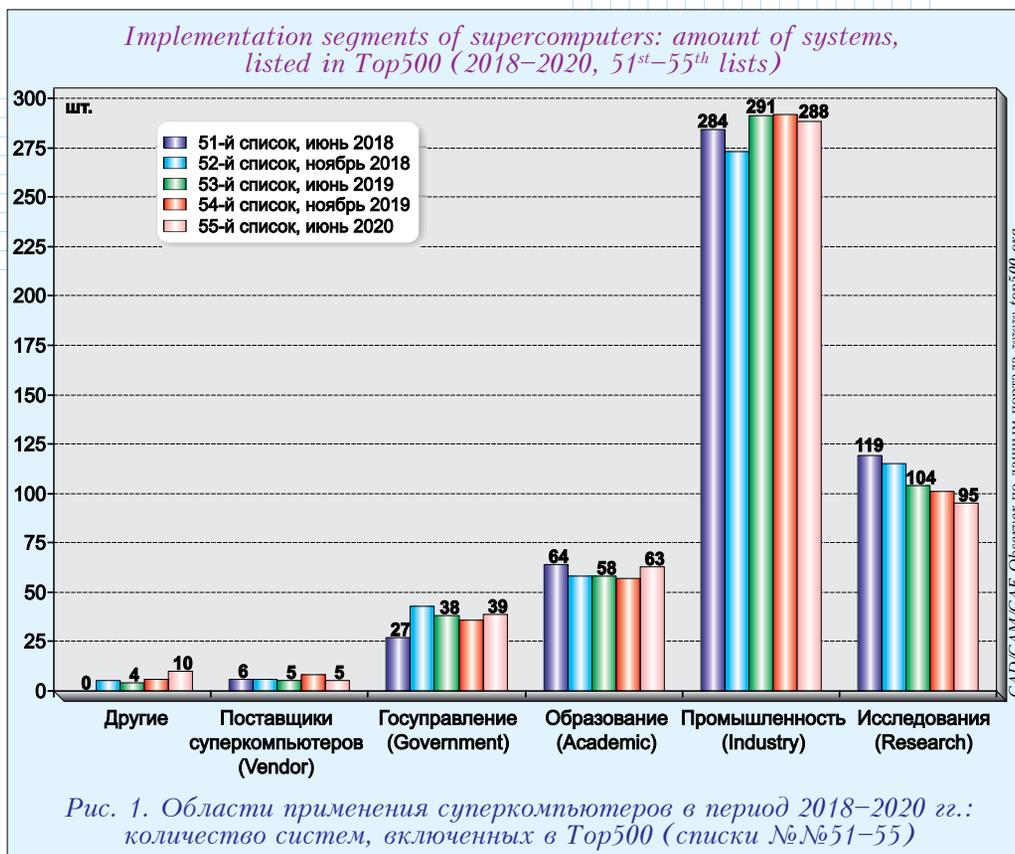
За прошедший год, помимо нового рекордсмена *Fugaku*, в горячей десятке *Top500* появились (впервые – в новейшем, 55-м списке) еще три новых имени (выделены в таблице темной закрашкой):

- на 6-м месте – *HPC5*;
- на 7-м месте – *Selene*;
- на 9-м месте – *Marconi-100*.

Остальные шесть горячих агрегатов имеют знакомые имена: *Summit* (2-е место), *Sierra* (3-е место), *Sunway TaihuLight* (4-е место), *Tianhe-2A* (5-е место), *Frontera* (8-е место) и *Piz Daint* (10-е место).

Предлагаем читателям обращать внимание на позиции суперкомпьютеров не только в *Top500*, но и в рейтинге энергоэффективности *Green500*, а также в рейтинге *HPCG*, который стал составной частью *Top500* в 49-м списке.

*High-Performance Conjugate Gradient Benchmark* – это новый метод сравнительного тестирования *HPC*-систем, учитывающий тот факт, что многие современные задачи требуют решения дифференциальных уравнений и обработки больших массивов данных с применением эффективных технологий из арсенала параллельного программирования. Показатели производительности суперкомпьютеров на тесте *HPCG* выглядят куда более скромно – в десятки раз.



### 3.3 Былые рекордсмены еще в строю

Краткая характеристика прежних систем-победителей, попавших и в первую десятку 55-го списка *Top500*:

- американский суперкомпьютер **Summit**, лидер четырех последних списков (№№51÷54), демонстрирует реальную производительность 148.6 *Pflops*, пиковую – 200.795 *Pflops*; вычислительная эффективность – 74%. Новый лидер, *Figaku*, работает быстрее *Summit* в 2.80 раза;

- китайский суперкомпьютер **Sunway Taihu-Light**, лидер четырех последних списков (№№47÷50), имеет реальную производительность 93.01 *Pflops*, пиковую – 125.44 *Pflops*; вычислительная эффективность – 74.15%. По сравнению с новым лидером, он работает медленнее в 4.47 раза;

- китайский суперкомпьютер **Tianhe-2** (на английском языке название звучит как *Milky Way-2*), лидер шести списков (№№41÷46), тогда демонстрировал реальную производительность 33.8627 *Pflops*, пиковую – 54.9024 *Pflops*, вычислительную эффективность – 61.68%. После модернизации, документированной в 51-м списке (сопроцессоры *Xeon Phi* пятилетней давности заменены сопроцессорами *Matrix-2000* китайской разработки), этот супераппарат под именем **Tianhe-2A** стал считать почти вдвое быстрее: реальная производительность – 61.4445 *Pflops*, пиковая – 100.6787 *Pflops*, вычислительная эффективность – 61.03%. Система *Figaku* обгоняет *Tianhe-2A* в 6.76 раза;

- суперкомпьютер **Sequoia** от *IBM* – победитель из 39-го списка. Реальная производительность – 17.173 *Pflops*, пиковая – 20.133 *Pflops*, вычислительная эффективность – 85.3%. *Figaku* считает в 24.20 раза быстрее, чем *Sequoia*.

Напомним, в I квартале 2020 года был демонтирован суперкомпьютер **Titan**, лидер 40-го списка.

### 3.4 Лучшие производители лучших систем

Среди производителей лидирующих суперкомпьютеров, которые вошли в первую десятку 53-го списка, места распределились следующим образом:

- 1** *Fujitsu*, Япония – одна система с производительностью 415.53 *Pflops*.

- 2** *IBM*, США – три системы с общей производительностью 318.43 *Pflops*;

- 3** *NRCPC*, Китай – одна система с производительностью 93.016 *Pflops*;

- 4** Национальный университет оборонных технологий (*National University of Defense Technology*), Китай – одна система с производительностью 61.4445 *Pflops*;

- 5** *Dell Technology*, США – две системы с общей производительностью 58.9664 *Pflops*;

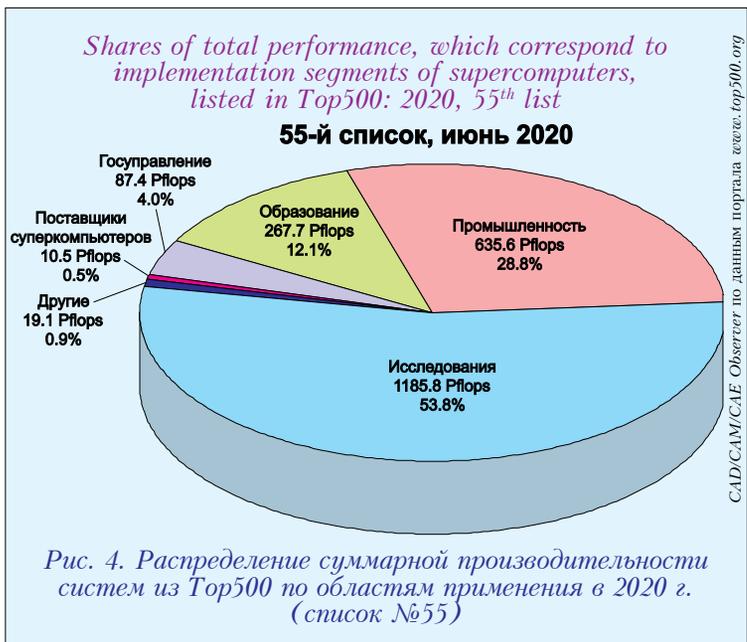
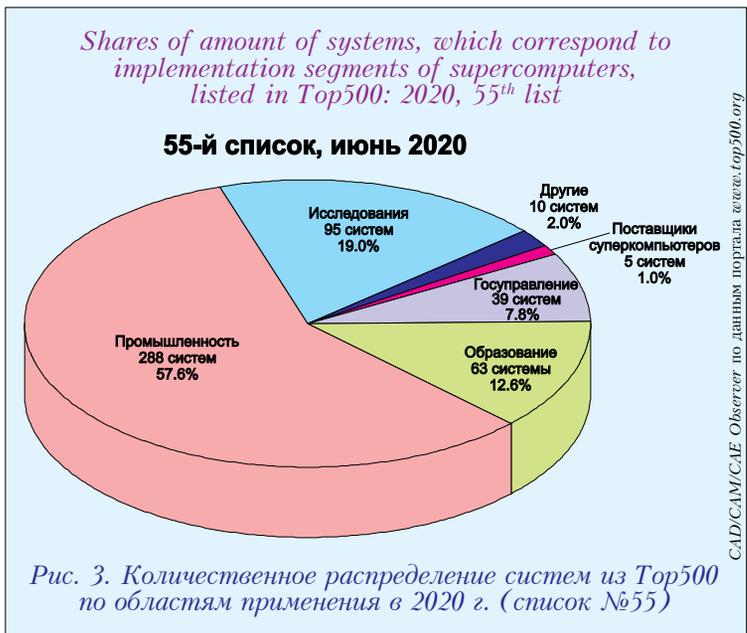
- 6** *NVIDIA*, США – одна система с производительностью 27.58 *Pflops*;

- 7** *HPE (Cray)*, США – одна система с производительностью 21.23 *Pflops*.

Компания *Fujitsu* – лидирующий разработчик вычислительных систем из первой десятки *Top500*; производительность рекордсмена рейтинга составляет 415.53 *Pflops*.

## 4. Области применения систем ВПП

Как и прежде, наибольшее количество суперкомпьютеров из *Top500* работает в промышленности (*Industry*): в 55-м списке таких насчитывается 288 (57.6% от общего числа). В научные исследования (*Research*) вовлечены 95 систем (19.0%), а в сфере образования (*Academic*) – 63 системы или 12.6% (рис. 1, 3).



Год назад, в 53-м списке, супервычислители распределялись так: промышленность – 291 система (58.2%); исследования – 104 системы (20.8%), образование – 58 систем (11.6%). Два года назад, в 51-м списке, распределение было таким: промышленность – 284 системы (56.8%); исследования – 119 систем (23.8%), образование – 64 системы (12.8%).

По суммарной производительности в 55-м списке впереди идут суперкомпьютеры для науки – 1185.8 Pflops (53.8% от общей производительности всех систем, включенных в рейтинг). На промышленность работает совокупная вычислительная мощь 635.6 Pflops (28.8%), а на образование – 267.7 Pflops или 12.1% (рис. 2, 4).

Наблюдается значительный рост по сравнению с показателями годовой давности, которые зафиксировал 53-й список: суммарная производительность суперкомпьютеров для науки тогда составляла 799.3 Pflops (51.2% от общей), для промышленности – 475.4 Pflops (30.5%), для образования – 198.6 Pflops (12.7%).

Остальные области применения не столь велики – как по числу инсталляций систем ВПВ, так и по суммарной производительности. Сюда относят суперкомпьютеры, являющиеся объектом экспериментов, которые проводят их разработчики (*Vendors*), а также используемые для задач государственного управления (*Government*).

## 5. Региональный срез рейтинга Top500

Наша региональная “табель о рангах” позволяет препарировать состояние дел в США, Китае, Японии, Евросоюзе и России. Данные за два последних года (списки №№51÷55 рейтинга Top500) наглядно отображены на диаграммах (рис. 5÷10).

На рис. 7, 8, построенных для последних пяти лет (списки №№46÷55), можно проследить тенденции в развитии регионов, уже построивших супервычислители петафлопсного класса и имеющих амбиции пересечь эксафлопсный рубеж.

### 5.1 США

По состоянию на июнь 2020 года (55-й список), в США инсталлировано 113 суперкомпьютеров уровня Top500 (то есть 22.6% от 500), что на 4 меньше, чем полгода назад: в ноябре 2019 года (54-й список) таковых было 117 (23.4%). Год назад, в июне 2019 года (53-й список), в рейтинг попало 116 (23.2%) американских суперкомпьютеров.

Уже в шести списках подряд (№№50÷55) этот показатель отстает от китайского, что заставляет США довольствоваться вторым местом по числу суперсистем.

В июне 2020 года суммарная производительность систем, инсталлированных в США, достигла 621.7 Pflops; за год этот показатель вырос с 600 Pflops на +3.6%. При этом их доля в общей производительности Top500 за год уменьшилась с

Amount of supercomputers, listed in Top500, installed in developed and emerging regions (2018–2020, 51<sup>st</sup>–55<sup>th</sup> lists)

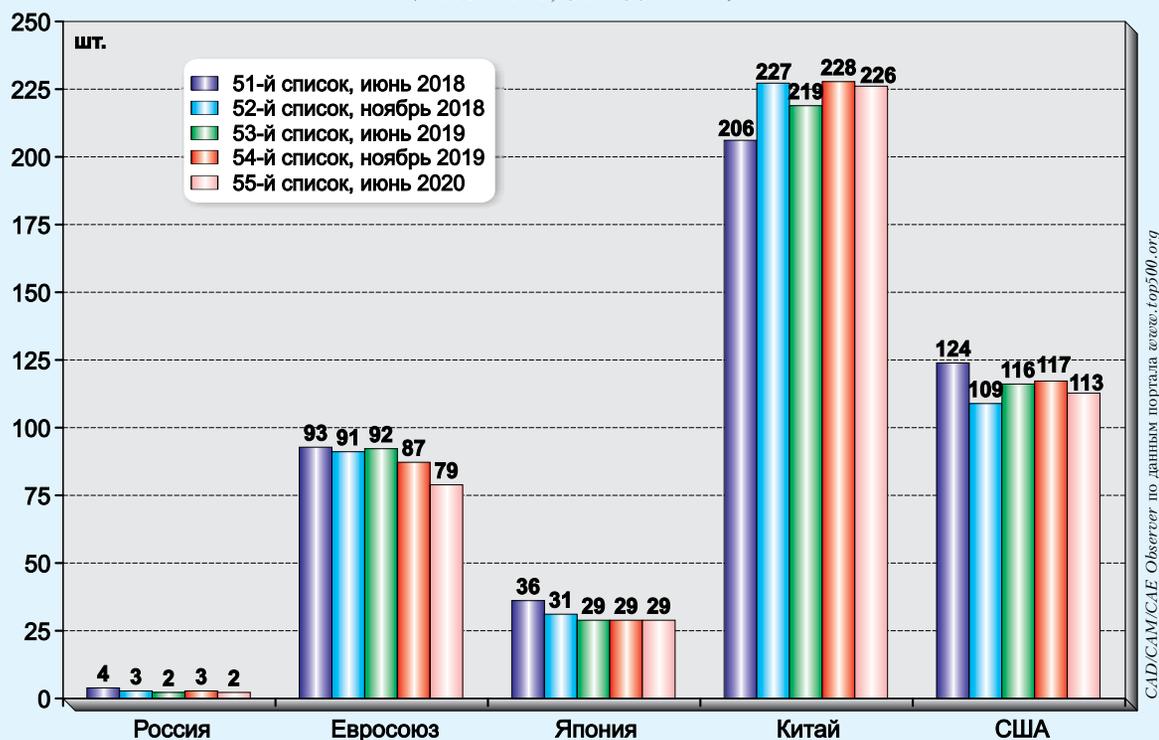


Рис. 5. Количество суперкомпьютеров из Top500 в развитых и развивающихся регионах мира (2018–2020 гг., списки №№51–55)

38.5% до 28.2%. Тем не менее, по показателю суммарной производительности США уже в пяти списках подряд (№№51÷55) обходят Китай и занимают первое место.

По суммарной производительности установленных суперсистем США занимают 1-е место в мире. За год этот показатель у них вырос с 600 до 621.7 Pflups (+3.6%).

### 5.2. Китай

В июне 2020 года (55-й список) количество суперсистем, установленных в Китае, составило 226 – то есть 45.2% от всего числа включенных в Top500. Год назад (53-й список) этот показатель был чуть ниже – 219 систем или 43.8%. Таким образом, Китай остается лидером по количеству систем в Top500.

Лидером по количеству установленных систем остается Китай: в июне 2020 г. количество китайских систем в Top500 достигло 226 (45.2%).

По суммарной производительности топовых суперкомпьютеров в 55-м списке (565.5 Pflups или 25.6% от общей) Китай находится на 2-м месте. За год этот важный показатель вырос на +21.4% (в 53-м списке – 465.95 Pflups или 29.9%).

### 5.3 Япония

За последний год число установленных в Стране Восходящего Солнца систем, которые по своим параметрам проходят в Top500, не изменилось: в последних трех списках №№53÷55 это неизменно 29 суперкомпьютеров (7.2% от общего количества). При этом их суммарная производительность, благодаря введению в эксплуатацию системы *Fugaku*, нового лидера Top500, совершила скачок до 527.6 Pflups (23.9% от общей), увеличившись в 4.5 раза по сравнению с 53-м списком (117.2 Pflups или 7.5% от общей). В новейшем 55-м списке Япония поднялась на третье место по величине суммарной производительности.

В четырнадцати предыдущих списках (с 41-го по 54-й) Япония по величине суммарной производительности занимала лишь 4-е место.

Напомним, что на 2-й позиции эта страна находилась в июне и ноябре 2011 года – с показателями 11.2 Pflups (19% от общей) и 14.2 Pflups (19.2%) соответственно, что было достигнуто благодаря вычислительной мощи рекордсмена списков №37 и №38 – *K computer*; однако уже в списке №51 бывший лидер оказался за пределами горячей десятки.

### 5.4 Евросоюз

Общее число систем из стран ЕС в списке №55 в июне 2020 года составило 79, то есть 15.8% от всего поголовья суперкомпьютеров уровня Top500. При этом за год оно уменьшилось на 13 агрегатов (в том

Total performance of supercomputers, listed in Top500, installed in developed and emerging regions (2018–2020, 51<sup>st</sup>–55<sup>th</sup> lists)

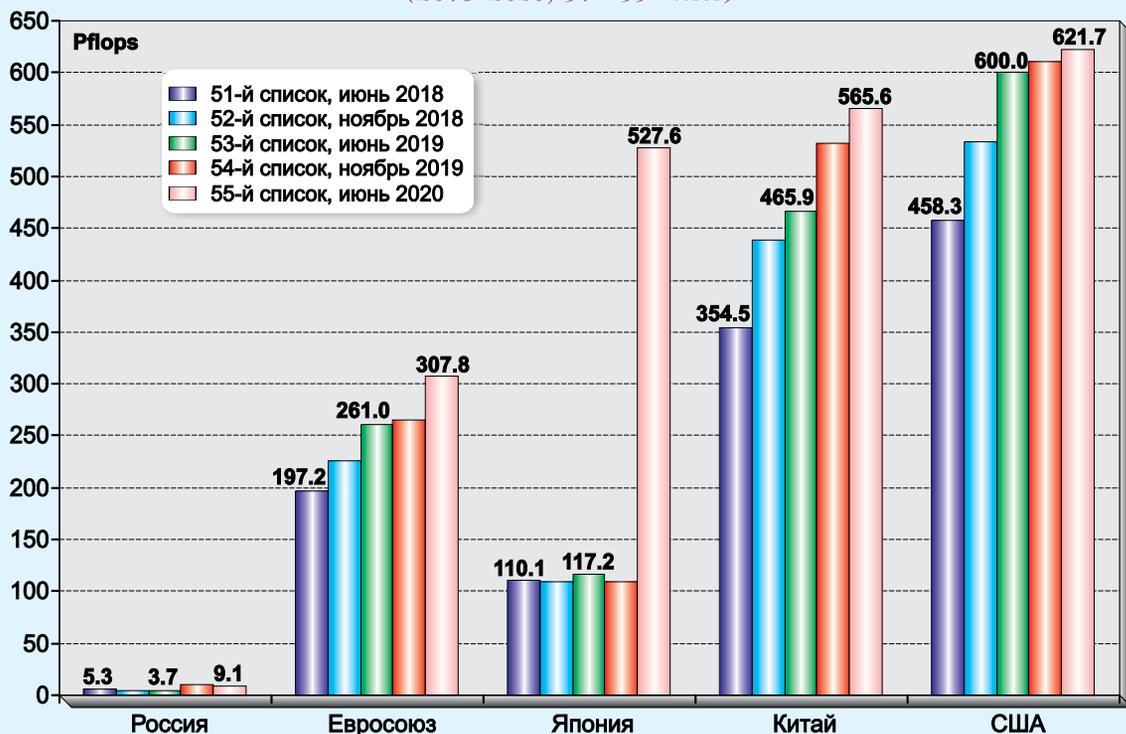


Рис. 6. Суммарная производительность суперкомпьютеров из Top500 в развитых и развивающихся регионах мира (2018–2020 гг., списки №№51–55)

Regional shares of amount of supercomputers for 2015–2020 (Top500, 46<sup>th</sup>–55<sup>th</sup> lists)

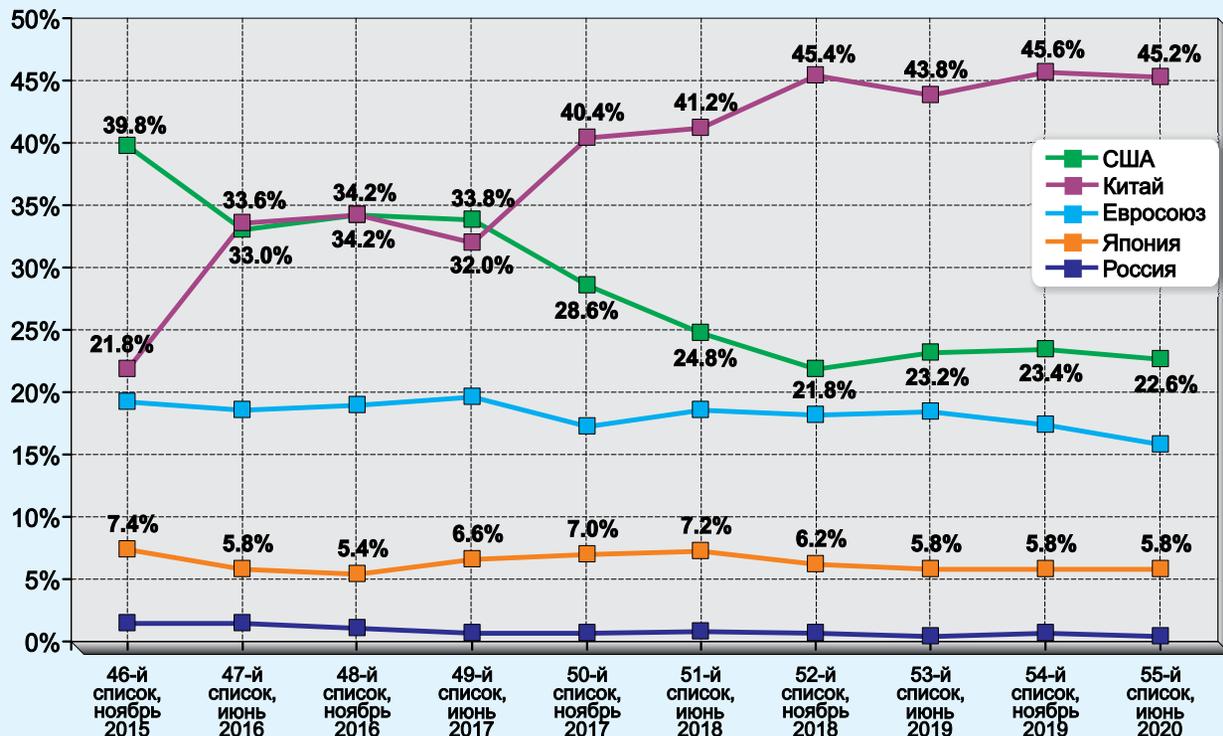


Рис. 7. Изменение региональных долей от общего количества суперкомпьютеров из Top500 в период 2015–2020 гг. (списки №№46–55)

Regional shares of total performance of supercomputers for 2015–2020 (Top500, 46<sup>th</sup>–55<sup>th</sup> lists)

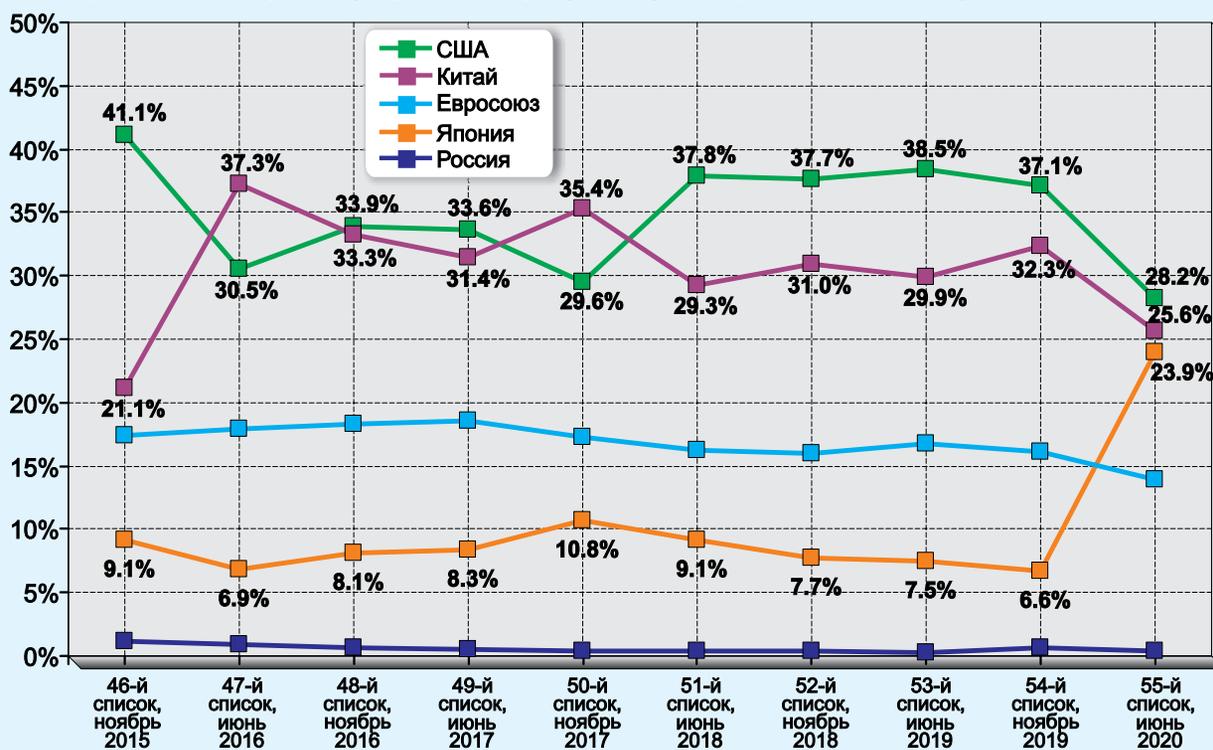


Рис. 8. Изменение региональных долей от суммарной производительности суперкомпьютеров из Top500 в период 2015–2020 гг. (списки №№46–55)

числе в результате завершившегося в январе 2020 года процесса *Brexit*): в июне 2019 года таких систем было 92 (18.4%).

Суммарная производительность этих 79-ти систем составляет 307.8 Pflops – то есть, 14.0% от общего значения для *Top500*. За год этот показатель увеличился на +17.9% – с 261.0 Pflops (16.7% от общего значения).

Таким образом, ЕС по числу систем находится на 3-м месте, а по их суммарной производительности – на 4-м.

Два первых места в Евросоюзе в июне 2020 года занимают:

- 1 Франция – 79.9 Pflops, 19 систем;
- 2 Германия – 68.7 Pflops, 16 систем.

На долю этих двух стран сегодня приходится 44.3% суперкомпьютеров из *Top500*, расположенных на территории ЕС, и 48.3% их суммарной производительности.

Покинувшая ЕС Великобритания обладает 10 системами с суммарной производительностью 30.95 Pflops.

Год назад, в июне 2019 года три первых места в Евросоюзе занимали:

- 1 Франция – 67.2 Pflops, 19 систем;
- 2 Германия – 59.1 Pflops, 14 систем;
- 3 Великобритания – 40.0 Pflops, 18 систем.

Отметим, что в 55-й список *Top500* попали супервычислители 11-ти стран Евросоюза (всего членами ЕС являются 27 стран). Год назад (до завершения процесса *Brexit*) такого успеха смогли достичь 13 из 28-ми членом ЕС.

### 5.5 Россия

Российская Федерация в 55-м списке *Top500* представлена двумя системами (0.4% от общего числа в *Top500*) с суммарной производительностью 9.1 Pflops (0.4% от общего значения в *Top500*). Год назад в списке №53 также были представлены две системы (0.4% от 500) с суммарной производительностью 3.7 Pflops (0.2%).

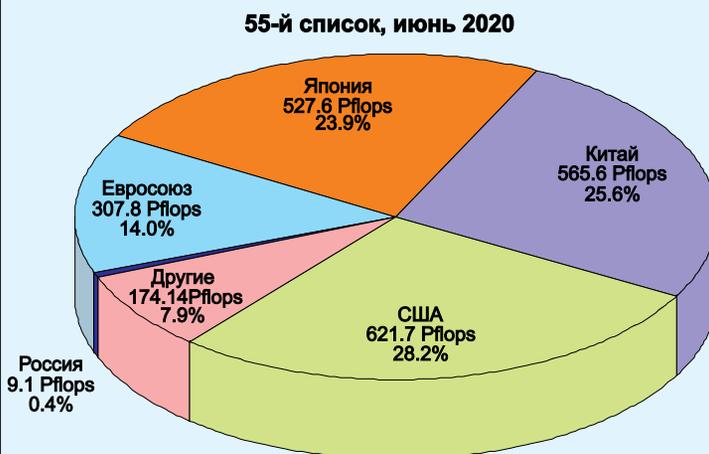
Параметры двух российских петафлопников (табл. 2):

*Shares of amount of supercomputers, installed in developed and emerging regions, listed in Top500 – 2020, 55<sup>th</sup> list*



*Рис. 9. Региональное распределение суперкомпьютеров из Top500 в 2020 г. (список №55)*

*Shares of total performance of supercomputers, installed in developed and emerging regions, listed in Top500 – 2020, 55<sup>th</sup> list*



*Рис. 10. Региональное распределение суммарной производительности суперкомпьютеров из Top500 в 2020 г. (список №55)*

**Табл. 2. Лидеры российского суперкомпьютерного рейтинга Top50 в апреле 2020 г., включенные также в мировой рейтинг Top500 в июне 2020 г.**

Место в российском рейтинге Top50 (32-й список)	Место в международном рейтинге Top500 (55-й список)	Производительность, Pflops		Общее число процессорных ядер	Название компьютера, архитектура, применяемые процессоры и ускорители	Компания-производитель	Организация, где установлен суперкомпьютер
		реальная	пиковая				
1	36	6.669	8.790	99 600	<b>Кристофари</b> (NVIDIA DGX-2) Intel Xeon Platinum 8168 (24 ядер, 2.7 GHz) NVIDIA Tesla V100	NVIDIA (США), а также SberCloud (Россия) (её участие отмечено только в российском Top50)	SberCloud (ООО "Облачные технологии"), СберБанк, Москва
2	131	2.478	4.947	64 384	<b>Ломоносов-2</b> Intel Xeon E5-2697v3 (14 ядер, 2.6 GHz) Intel Xeon Gold 6126 NVIDIA Tesla K40M / P100	Т-Платформы (Россия)	Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

- На 36-м месте находится суперкомпьютер **Кристофари**, инсталлированный в Сбербанке (реальная производительность – 6.669 Pflops, пиковая – 8.79 Pflops, вычислительная эффективность – 75.9%). Эта система построена американской компанией **NVIDIA**. Отставание от **Fugaku** по реальной производительности составляет 62.3 раза.

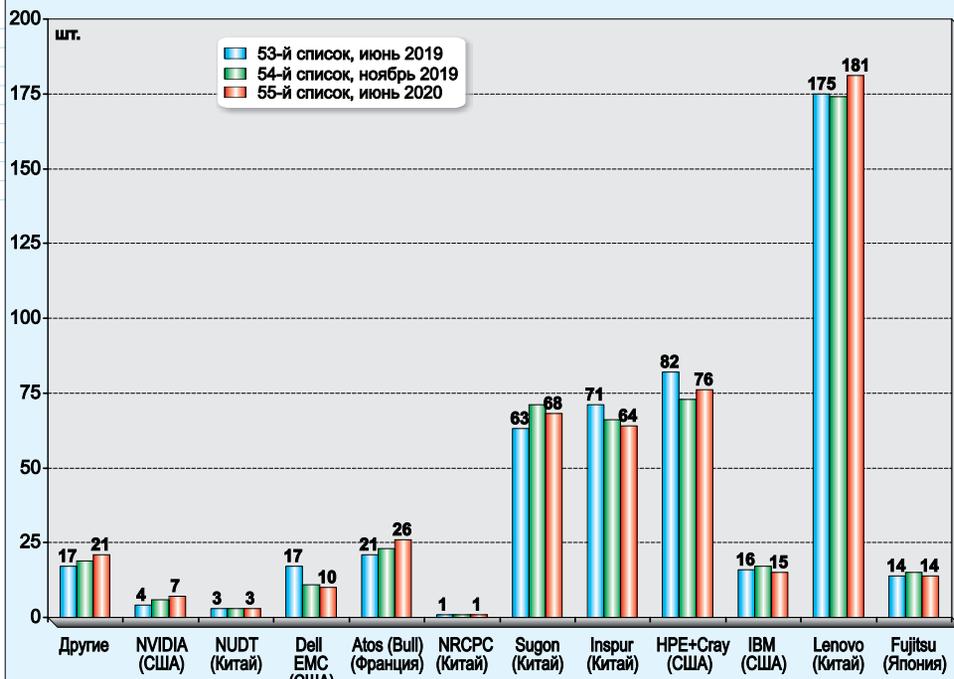
- На 131-м месте находится суперкомпьютер **T-Platform A-Class Cluster** под названием **“Ломоносов 2”**, инсталлированный в Суперкомпьютерном центре МГУ им. М.В. Ломоносова. Его реальная производительность составляет 2.478 Pflops, пиковая – 4.947 Pflops, вычислительная эффективность – 50%. По показателю реальной производительности эта система, построенная российской компанией **“Т-Платформы”**, отстает от **Fugaku** в 167.7 раз.

Напомним, что с новейшими данными суверенного российского рейтинга **Топ50** можно ознакомиться на сайте [top50.supercomputers.ru](http://top50.supercomputers.ru). Анализ российских сегментов интересующих нас компьютерных рынков проводился в специальной “русской” части [5] нашего позапрошлого года обзора.

## 6. Ведущие производители суперкомпьютеров

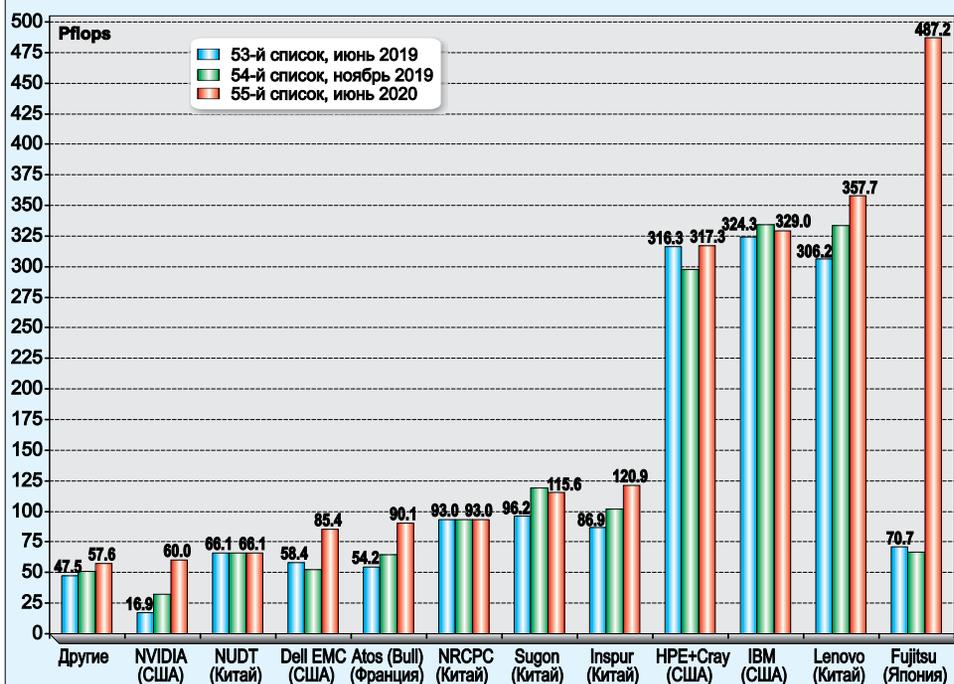
Показатели ведущих производителей суперкомпьютеров из **Топ500** представлены на **рис. 11, 12**. Компании отранжированы в соответствии с суммарной реальной производительностью их систем,

*Amount of supercomputers, listed in Top500 (2019–2020, 53<sup>rd</sup>–55<sup>th</sup> lists), grouped according to systems vendors (>50 Pflops)*



*Рис. 11. Количество суперкомпьютеров, созданных разными производителями (>50 Pflops) в период 2019–2020 гг. (Топ500, списки №№53–55)*

*Total performance of supercomputers, listed in Top500 (2019–2020, 53<sup>rd</sup>–55<sup>th</sup> lists), grouped according to systems vendors (>50 Pflops)*



*Рис. 12. Распределение суммарной производительности суперкомпьютеров из Топ500 по производителям (>50 Pflops) в период 2019–2020 гг. (списки №№53–55)*

Amount of supercomputers, listed in Top500, 51<sup>st</sup>–55<sup>th</sup> lists, based on various multicore processors – rise of popularity and the skids for processors with 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20 cores for 2018–2020

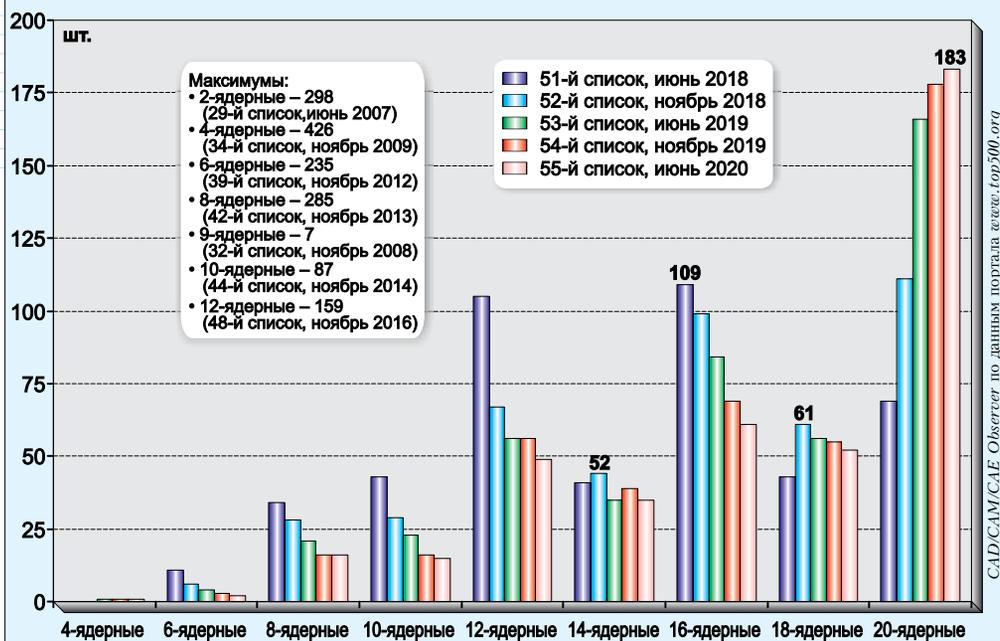


Рис. 13. Рост и падение популярности процессоров с 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20 ядрами в суперкомпьютерах из Top500 в период 2018–2020 гг. (списки №№51–55)

Amount of supercomputers, listed in Top500, 51<sup>st</sup>–55<sup>th</sup> lists, based on various multicore processors – changes of popularity for processors with 22, 24, 28, 32, 48, 64, 68, 260 cores for 2018–2020

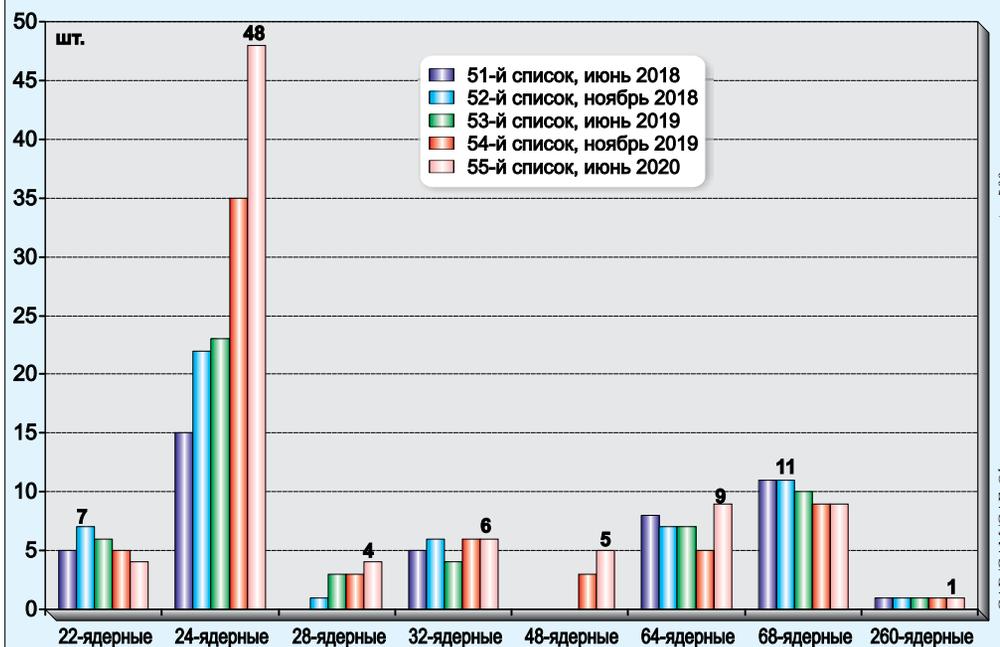


Рис. 14. Изменение популярности процессоров с 22, 24, 28, 32, 48, 64, 68, 260 ядрами в суперкомпьютерах из Top500 в период 2018–2020 гг. (списки №№51–55)

набравших проходной балл в Top500. При этом те незадачливые производители, суммарная пиковая производительность систем которых не дотянула до 50 Pflaps, в расчет не принимались.

Рассматриваемые компании (организации) условно можно разделить на следующие три группы (каждая компания упоминается только один раз):

1) производители суперкомпьютеров, входящих в первую десятку Top500, – Fujitsu, IBM, National Research Center of Parallel Computer Engineering & Technology (NRCPC), National University of Defense Technology, Dell, HPE (Hewlett-Packard Enterprise вместе с приобретенной Cray);

2) участники мирового рынка HPC-систем – Atos (Bull), NVIDIA, Lenovo;

3) участники региональных рынков HPC-систем – Inspur Information Industry, Sugon.

По количеству установленных суперкомпьютеров в 55-м списке лидером является китайская компания Lenovo. Её показатели в трех последних списках (июнь и ноябрь 2019 г., июнь 2020 г.) таковы: 175, 174 и 181 система соответственно (рис. 11).

На 2-м месте располагается американская компания HPE+Cray, инсталлировавшая 82, 73 и 76 систем соответственно.

На 3-м месте обосновалась китайская компания Sugon, в активе которой 63, 71 и 68 систем.

На 4-м месте находится китайская же компания *Inspur*, построившая 71, 66 и 64 системы уровня *Top500* – в июне и ноябре 2019 года и в июне 2020-го соответственно.

Пятерку замыкает французская компания *Atos (Bull)*. В трех последних списках её показатели выглядят так: 21, 23 и 26 систем соответственно.

Всего лишь на 6-м месте в списке №55 оказалась именитая корпорация *IBM* (напомним, что часть её серверного бизнеса была продана компании *Lenovo*), построившая 16, 17 и 15 систем из пятисот в трех последних списках соответственно. Однако теперь в активе *IBM* значится новый лидер *Top500!*

Лидером по числу построенных суперкомпьютеров уровня *Top500* является китайская компания *Lenovo* – на её счету 181 система.

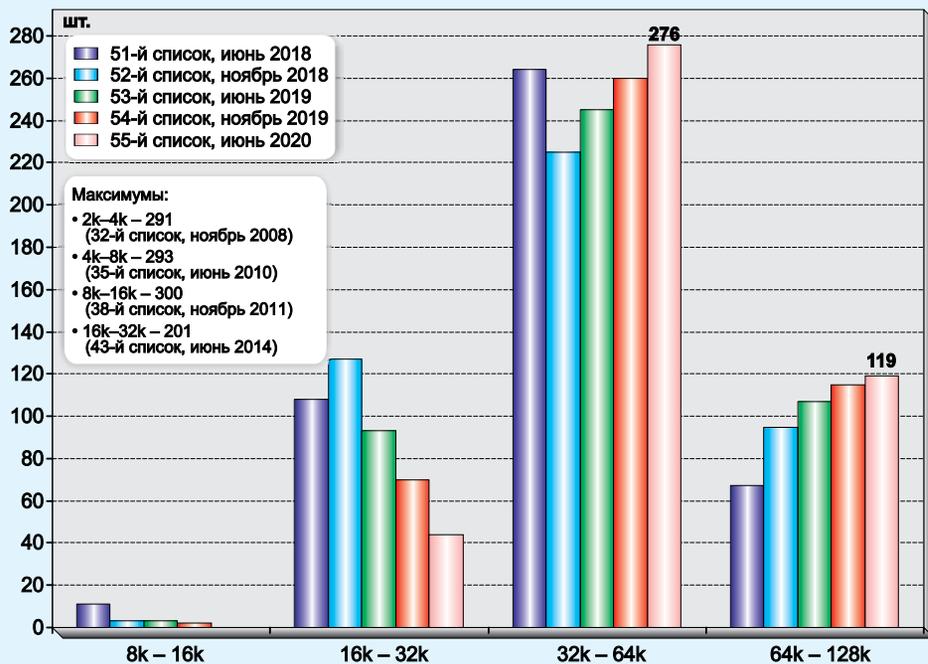
В аспекте суммарной производительности установленных систем ситуация выглядит несколько иначе.

Лидером *Top500* по этому показателю в списке №55 стала компания *Fujitsu* (рис. 12), представившая систему *Fugaku*, которая возглавила мировой рейтинг. В июне и ноябре 2019 года и в июне 2020-го этот важнейший показатель супервычислителей от *Fujitsu* имел значения 70.7, 66.6 и 487.2 *Pflops* соответственно.

На второй позиции в списке №55 находится компания *Lenovo*. В июне и ноябре 2019 года и в июне 2020-го её суммарные показатели были следующими: 306.2, 333.4 и 357.7 *Pflops* соответственно.

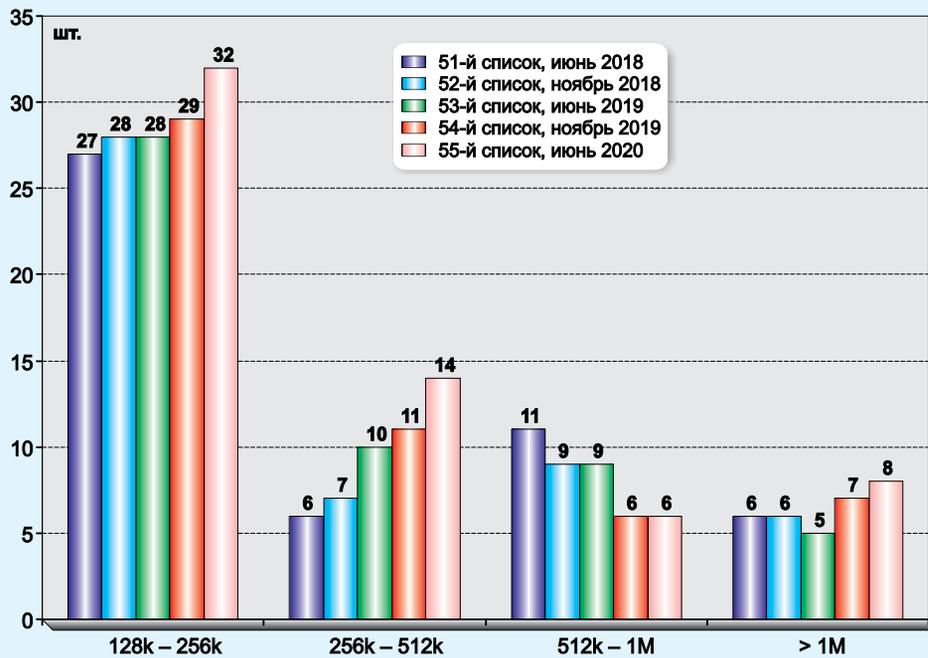
На третью ступеньку в списке №55 съехала

*Amount of supercomputers, listed in Top500 (2018–2020, 51<sup>st</sup>–55<sup>th</sup> lists), based on definite number of processor cores (< 128k)*



*Рис. 15. Количественное распределение суперкомпьютеров в Top500 (2018–2020 гг., списки №№51–55) в зависимости от числа процессорных ядер (< 128k)*

*Amount of supercomputers, listed in Top500 (2018–2020, 51<sup>st</sup>–55<sup>th</sup> lists), based on extreme number of processor cores (> 128k)*



*Рис. 16. Количество суперкомпьютеров в Top500 с экстремальным числом процессорных ядер (> 128k) в период 2018–2020 гг. (списки №№51–55)*

компания *IBM* со своим недавним чемпионом – системой *Summit*. В июне и ноябре 2019 года и в июне 2020-го показатели *IBM* были следующими: 324.3, 333.9 и 329.0 *Pflops* соответственно.

Четвертую позицию в списке №55 занимает американская компания *HPE+Cray*. В трех последних списках суммарные показатели объединенной компании имели значения 316.3, 297.5 и 317.3 *Pflops* соответственно.

На пятое место по суммарной производительности в списке №55 впервые поднялась китайская компания *Inspur*. В июне и ноябре 2019 года и в июне 2020-го показатели *Inspur* были следующими: 86.9, 102.1 и 120.9 *Pflops*.

Лидером по суммарной производительности систем в *Top500* сегодня является японская компания *Fujitsu* с показателем 487.2 *Pflops*.

## 7. Число процессорных ядер в суперкомпьютерах

Статистика по использованию многоядерных процессоров для построения суперкомпьютеров, входящих в *Top500*, отражена на рис. 13, 14.

Пик популярности 18-ядерных процессоров пришелся на 52-й список – 61 система; 16-ядерных – на

51-й список (109 систем); 14-ядерных – на 50-й список (52 системы), а 12-ядерных – на 48-й список (159 систем). Популярность 10-ядерных процессоров была на пике в 44-м списке – на их базе было построено 87 систем; 8-ядерные процессоры оказались наиболее применяемыми в 42-м списке (285 систем); 6-ядерные – в 39-м списке (235 систем); 4-ядерные – в 34-м списке (426 систем).

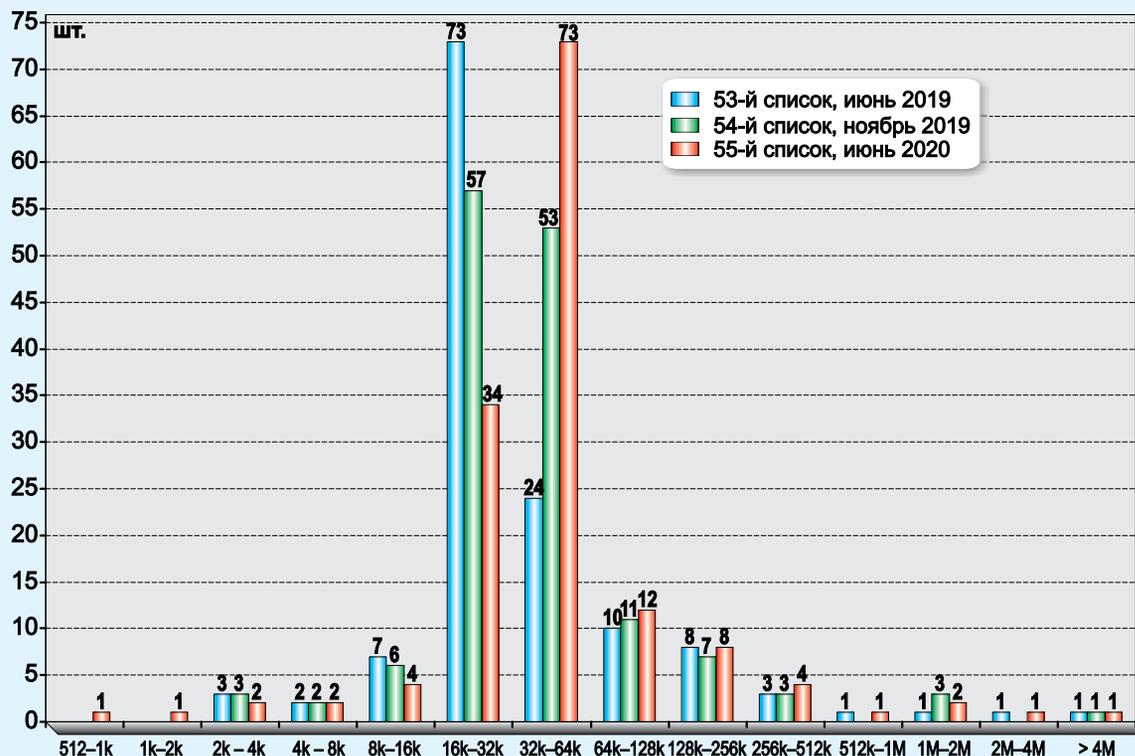
В новейшем, 55-м списке наиболее популярными стали 20-ядерные процессоры – на их базе построены 183 системы.

Наибольшей популярностью при создании суперкомпьютеров, включенных в 55-й список *Top500*, пользовались 20-ядерные процессоры: на их базе построены 183 системы.

Число суперкомпьютеров на базе 22-ядерных процессоров в списке №55 уменьшилось до четырех, а на базе 24-ядерных процессоров возросло до 48. Четыре системы построены на 28-ядерных процессорах. Наибольшее число систем на базе 32-ядерных процессоров пока наблюдается в 52-м, 54-м и 55-м списках – шесть, на базе 64-ядерных процессоров – в 55-м списке (11 систем), на базе 68-ядерных – в 51-м списке (11 систем).

В списках №№54, 55 появились системы на основе 48-ядерных процессоров – 3 и 5 соответственно.

*Amount of supercomputers, listed in Top500 (2019–2020, 53<sup>rd</sup>–55<sup>th</sup> lists), with hybrid architecture based on definite number of co-processor and graphic processor (GPU) cores*



CAD/CAM/CAE Observer по данным портала [www.top500.org](http://www.top500.org)

*Рис. 17. Количественное распределение входящих в Top500 суперкомпьютеров с гибридной архитектурой в зависимости от числа ядер в сопроцессорах и графических процессорах 2019–2020 гг. (списки №№53–55)*

Кроме того, в последних семи списках (с 47-го по 55-й) выделяется одна система, при создании которой нашли применение 260-ядерные процессоры.

Пик популярности систем с суммарным числом ядер от 16k до 32k пришелся на 43-й список – 201 система (рис. 15).

Наиболее распространенное суммарное число ядер в одной системе сейчас лежит в пределах от 32k до 64k, где  $k = 1024$ . В текущем 55-м списке таких систем оказалось 276. На втором месте по популярности сейчас находятся системы с количеством ядер в пределах от 64k до 128k (119 систем), а на третьем месте – с числом ядер от 128k до 256k (32 системы) (рис. 16).

Надо отметить, что суперкомпьютеры с рекордными характеристиками содержат значительно больше вычислительных ядер – их количество превышает 256k. Общее число таких вычислителей в 55-м списке достигло 28.

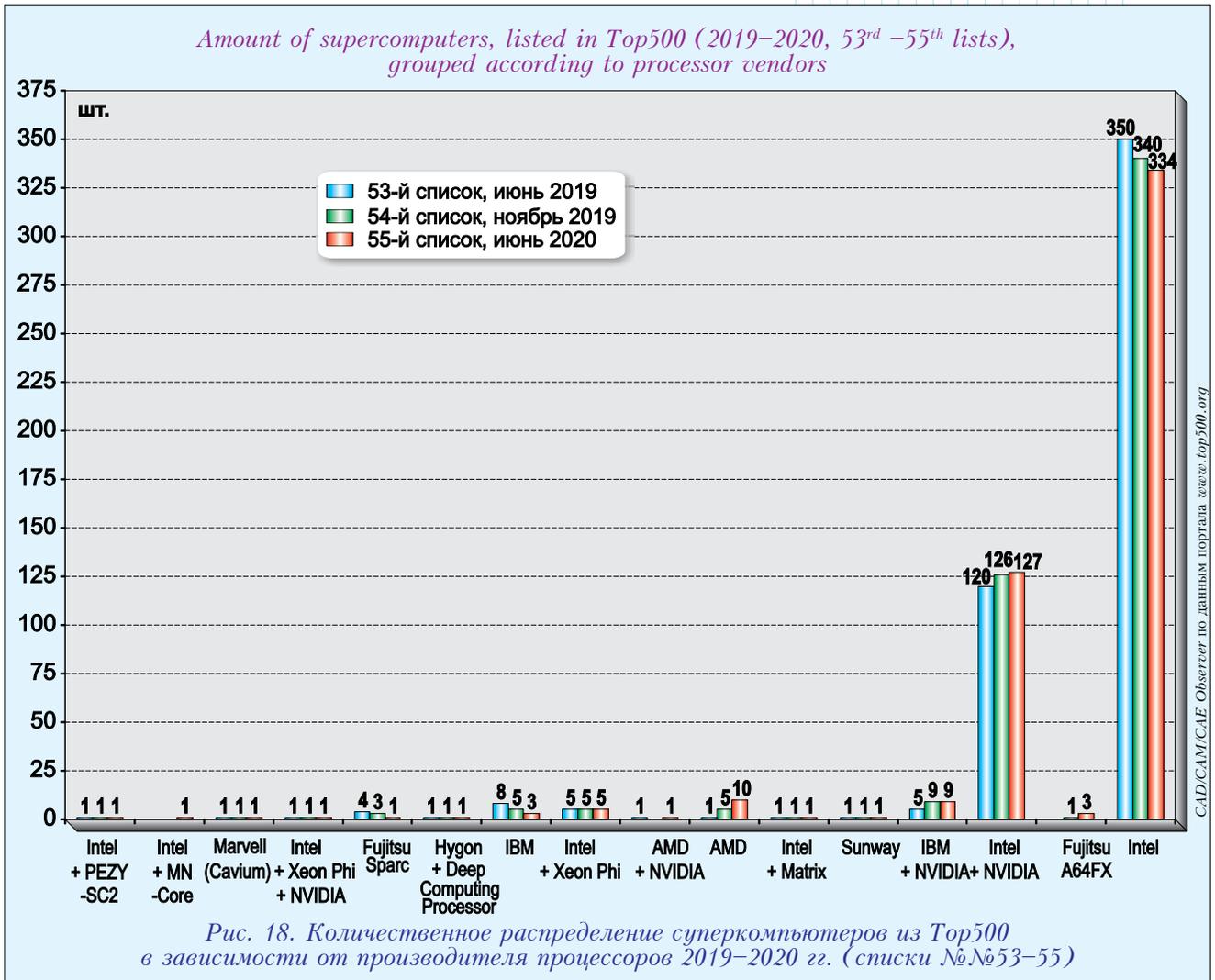
Рекордсменом в этой номинации остается *Sunway TaihuLight*, лидировавший по производительности в 47÷50 списках *Top500*: общее

число его ядер равно 10 649 600 или 10.17M ( $M = 1024 \times 1024$ ).

На второе место в 55-м списке выдвинулся новый чемпион *Fugaku*: общее число его процессорных ядер равно 7 299 072 или 6.96M.

Другие супервычислители-миллионщики:

- *Tianhe-2A* – 4 981 760 ядер (4.75M). До модернизации этот суперкомпьютер назывался просто *Tianhe-2* и возглавлял списки №№41÷46, имея 3 120 000 ядер (2.98M);
- *Summit*, лидер списков №№51÷54 – 2 414 592 ядра (2.3M), а до модернизации и настройки – 2 282 544 ядра (2.18M);
- *ThinkSystem SR590* с 2 312 800 ядрами (2.21M) – система, занявшая в 55-м списке 269-е место (разработчик – китайская компания *Lenovo*);
- *Sequoia*, лидер 39-го списка – 1 572 864 ядра (1.5M);
- *Sierra* – 1 572 480 ядер (1.5M);
- *NA-1* с 1 271 040 ядрами (1.21M) – система, занявшая в 55-м списке 469-е место (разработчики – японские компании *PEZY Computing* и *Exascaler*).



Отметим, что четыре из восьми названных систем являются гибридными.

## 8. Суперкомпьютеры с гибридной архитектурой

В текущем, 55-м списке *Top500* насчитывается 146 систем с гибридной архитектурой, а их доля составляет 29.2%. Это на 12 систем больше, чем было год назад в 53-м списке (134 системы или 26.8%).

Число суперкомпьютеров с гибридной архитектурой составляет 146 – это 29.2% от всех включенных в *Top500* систем.

Диаграмма на *рис. 17* позволяет сопоставить число гибридных супервычислителей, обладающих различным суммарным количеством ядер графических процессоров или сопроцессоров, используемых для ускорения вычислений.

Сейчас в первой десятке *Top500* представлены семь гибридных систем: *Summit* (2-е место), *Sierra* (3-е место), *Tianhe-2A* (5-е место), *HPC5*

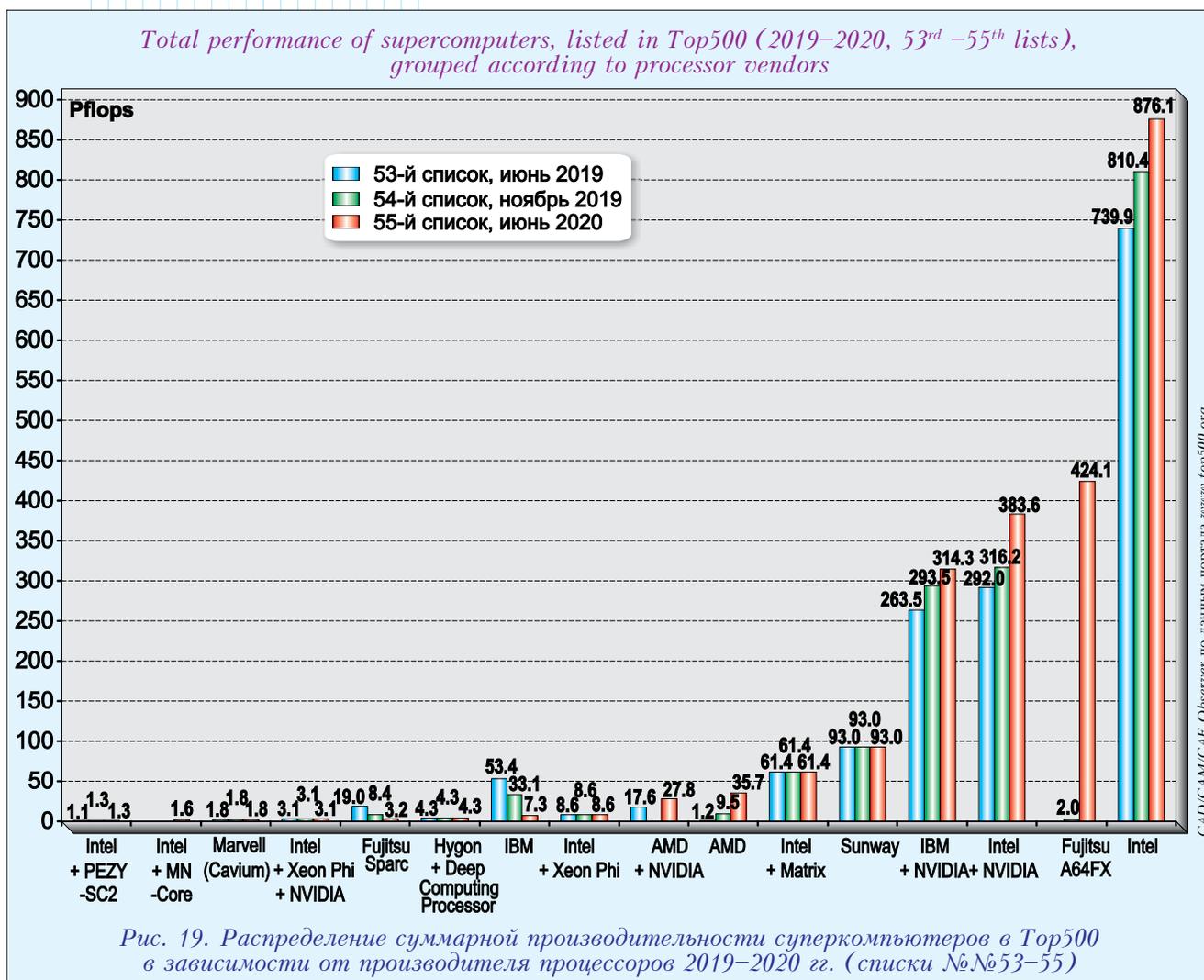
(6-е место), *Selene* (7-е место), *Marconi-100* (9-е место), *Piz Daint* (10-е место).

В июне 2020 года наиболее популярной в гибридных системах была комбинация “*Intel + NVIDIA*”. Всего в *Top500* таких систем сейчас насчитывается 127 (*рис. 18*); полгода и год назад их было 126 и 120 соответственно.

На втором месте находится сочетание “*IBM + NVIDIA*” (9 суперкомпьютеров; полгода и год назад их было 9 и 5 соответственно).

По суммарной производительности среди гибридных суперкомпьютеров на лидирующих позициях находится комбинация “*Intel + NVIDIA*”, набравшая 383.6 *Pflops* (*рис. 19*). Полгода и год назад для этой категории гибридных систем этот параметр составлял 316.2 и 292.0 *Pflops* соответственно.

На втором месте по суммарной производительности – комбинация “*IBM + NVIDIA*” с показателем 314.3 *Pflops*. Полгода и год назад этот параметр составлял 255.9 и 263.5 *Pflops* соответственно, что обеспечивало первое место в 52-м и 51-м списках.



На третьем месте остается комбинация “*Intel + Matrix*”, чей показатель не изменился: 61.4 *Pflops*.

Наибольшую суммарную производительность показали те гибридные суперкомпьютеры, в которых применяется сочетание “*Intel + NVIDIA*”: 127 таких систем выдают на-гора 383.4 *Pflops*.

Обратим также внимание читателей на прототип гибридного суперкомпьютера *MN-3* (394-е место в 55-м списке), разработанный японской компанией *Preferred Networks* на базе 24-ядерных процессоров *Intel Xeon 8260M* и процессора *MN-Core* собственной разработки, “заточенного” под решение задач искусственного интеллекта (рис. 19).

## 9. Ведущие производители процессоров для суперкомпьютеров

Поставщиком процессоров для подавляющего большинства суперкомпьютеров, входящих в *Top500*, является компания *Intel* (рис. 18). В июне и ноябре 2019 года и июне 2020-го количество систем на базе интеловских процессоров составляло 478, 474 и 470 соответственно (в том числе, гибридных систем – 128, 134, 136).

Остальные компании в 55-м списке отранжированы следующим образом:

- 2-е место занимает *IBM* – 14 систем на их процессорах, в том числе 9 гибридных;
- 3-е место у *AMD* – 11 систем, одна из которых гибридная;
- 4-е место за компанией *Fujitsu* – четыре системы, гибридных нет;
- 5-е место – китайский производитель *NRCPC* с одной негибридной системой;
- 6-е место – китайский производитель *Hygon* с одной гибридной системой;
- 7-е место – американский производитель *Marvell (Cavium)* с одной негибридной системой.

Сравнение по показателю суммарной производительности систем, построенных на процессорах соответствующих вендоров, для последних трех списков тоже неизменно оказывается в пользу *Intel*: 1106.1, 1201.1 и 1335.8 *Pflops* соответственно (рис. 19), включая весомый вклад гибридных систем (366.3, 390.7 и 459.7 *Pflops*).

Остальные компании по суммарной производительности их процессоров в 55-м списке расположились следующим образом:

- на 2-е место вышла японская компания *Fujitsu* с показателем 424.1 *Pflops*;
- 3-е место занимает *IBM* с показателем 321.6 *Pflops* (вклад гибридных систем – 314.3 *Pflops*);
- 4-е место занимает китайский производитель *NRCPC*, продемонстрировавший в июне 2016 года единственную систему с показателем 93 *Pflops*;
- 5-е место – американская компания *AMD* с показателем 63.5 *Pflops* (вклад гибридной системы составляет 27.8 *Pflops*);

- 6-е место – китайский производитель *Hygon* с показателем 4.3 *Pflops* для единственной гибридной системы;

- 7-е место – американский производитель *Marvell (Cavium)* с показателем 1.76 *Pflops*.

Компания *Intel* является лидером и по количеству, и по суммарной производительности суперкомпьютеров, построенных на базе её процессоров и сопроцессоров: 470 систем и 1335.8 *Pflops*.

Интеловские процессоры распределяются по следующим семействам: *Broadwell*, *Nehalem*, *Westmere*, *Haswell*, *IvyBridge*, *SandyBridge*, *Cascade Lake*, *Phi*, *Silver*, *Gold* и *Platinum*.

Новейшие процессоры *Fujitsu* используют систему команд *ARM*; ранее процессоры *Fujitsu* имели архитектуру *SPARC*.

Все процессоры “Толубого гиганта” принадлежат к семейству *POWER*.

Процессоры *NRCPC* относятся к семейству *Sunway*, процессоры *AMD* принадлежат к семейству *EPYC* и имеют архитектуру *Zen*, процессор *Hygon* также имеет архитектуру *AMD Zen*, а процессор *Marvell (Cavium)* построен на основе архитектуры *ARM (Advanced RISC Machine)*. 🍷

### Об авторе:

Павлов Сергей Иванович – *Dr. Phys.*, ведущий научный сотрудник Института численного моделирования Латвийского университета ([Sergejs.Pavlovs@lu.lv](mailto:Sergejs.Pavlovs@lu.lv)), автор аналитического *PLM*-журнала “*CAD/CAM/CAE Observer*” ([sergey@cadcamcae.lv](mailto:sergey@cadcamcae.lv)).

### Литература

1. Павлов С. Системы высокопроизводительных вычислений в 2019–2020 годах: обзор достижений и анализ рынков. Часть I. Мировая экономика в период пандемии коронавируса // *CAD/CAM/CAE Observer*, 2020, №3, с. 71–79.
2. Павлов С. Системы высокопроизводительных вычислений в 2019–2020 годах: обзор достижений и анализ рынков. Часть II. Серверы, облачная ИТ-инфраструктура // *CAD/CAM/CAE Observer*, 2020, №4, с. 68–79.
3. Павлов С. Системы высокопроизводительных вычислений в 2018–2019 годах: обзор достижений и анализ рынков. Часть III. Суперкомпьютеры // *CAD/CAM/CAE Observer*, 2019, №5, с. 65–78.
4. Павлов С. Системы высокопроизводительных вычислений в 2017–2018 годах: обзор достижений и анализ рынков. Часть VI. Процессоры // *CAD/CAM/CAE Observer*, 2018, №8, с. 77–86.
5. Павлов С. Системы высокопроизводительных вычислений в 2017–2018 годах: обзор достижений и анализ рынков. Часть IX. Российские рынки в преддверии реализации национальных проектов // *CAD/CAM/CAE Observer*, 2019, №3, с. 65–79.