Национальная исследовательская компьютерная сеть: инфраструктурно- сервисная основа единого цифрового пространства научных знаний

А. Г. Абрамов, А. В. Евсеев

Санкт-Петербургское отделение МСЦ РАН

А. А. Гончар

МСЦ РАН

Аннотация. В работе приведены общие сведения об архитектуре национальной исследовательской компьютерной сети нового поколения (НИКС), эксплуатируемой и развиваемой МСЦ РАН по заданию Минобрнауки России в качестве администратора и оператора с 2019 года. Обсуждены ключевые функции и направления функционирования НИКС сегодня и в ближайшей перспективе развития, некоторые актуальные задачи сферы науки и образования страны, требующие привлечения имеющихся инфраструктурных и сервисных возможностей сети, а также ее поступательной комплексной модернизации. Приведена информация о текущем состоянии в отношении географического и целевого пользовательского охвата НИКС внутри страны, сформированном заделе и потенциальном расширении направлений международного сотрудничества с зарубежными национальными научно-образовательными сетями и сетевыми консорциумами в интересах сферы науки и образования России. Обозначены предоставляемые НИКС возможности для совершенствования единого цифрового пространства научных знаний, повышения уровня доступности, информационной безопасности и сетевой защиты формирующих его ресурсов и сервисов. Представлены функционирующие на базе инфраструктуры НИКС отдельные специализированные научные сервисы, сервисы информационных технологий и сервисы коллективного пользования, построенные, в том числе на перспективных и массово эксплуатируемых технологиях федеративной аутентификации и развиваемые во взаимодействии с глобальным научно-образовательным сообществом.

Ключевые слова: национальная исследовательская компьютерная сеть нового поколения, НИКС, научно-образовательная сеть, ин-

фраструктурно-сервисная платформа, научные сервисы, федеративная аутентификация, AAI, RUNNetAAI, eduGAIN.

National Research Computer Network: infrastructure and service basis for a Common digital space of scientific knowledge

A. G. Abramov, A. V. Evseev

SPb branch of JSCC RAS

A. A. Gonchar

JSCC RAS

Abstract. The paper provides general information on the architecture of the new generation National Research Computer Network (NIKS), operated and developed by JSCC RAS on the assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation as an administrator and operator since 2019. The key functions and directions of functioning of NIKS today and in the short term development, some urgent tasks of the sphere of science and education of the country, requiring the engaging of the existing infrastructure and service capabilities of the network, as well as its progressive comprehensive modernization. Information is provided on the current state of NIKS with the geographical and target user coverage within the country, the groundwork formed and the potential expansion of areas of international cooperation with foreign national research and education networks and network consortia in the interests of the sphere of science and education of Russia. The opportunities provided by NIKS for improvement of a Common digital space of scientific knowledge, increasing the level of accessibility, information security and network protection of its resources and services are denoted. Individual specialized scientific services, information technology services and services for collective use functioning on the basis of the NIKS infrastructure, built, including on promising and massively exploited technologies of federated authentication and developed in cooperation with the global research and education community are presented.

Keywords: new generation national research computer network, NIKS, research and education network, infrastructure and service platform, scientific services, federated authentication, AAI, RUNNetAAI, eduGAIN.

1. Введение

Решение весьма актуальной задачи по формированию базирующегося на передовых технологиях, высоко востребованного и массово доступного единого цифрового пространства научных знаний (ЕЦПНЗ) [1, 2] в значительной мере увязано с опережающим развитием глобальной отраслевой телекоммуникационной сети, эксплуатируемой и совершенствуемой в интересах сферы науки и образования, выступающей в качестве высокопроизводительной инфраструктурно-сервисной платформы для хранения, анализа и обмена научно-технической информацией при осуществлении научно-исследовательской деятельности, реализации совместных проектов с предоставлением надежного повсеместного доступа к цифровым научным и образовательным ресурсам в доверенном и защищенном сетевом периметре.

Соответствующие функции традиционно возлагаются на существующие в большинстве развитых стран мира национальные научно-образовательные сети (National Research and Education Network, NREN), которые отвечают также за обеспечение высокоскоростной сетевой связности научных и образовательных организаций своих стран, межсетевое взаимодействие с зарубежными NREN и сетевыми консорциумами с повышенными требованиями к качеству сервиса, доступ целевых пользователей в глобальное ИКТ-пространство, в публичные сети, развитие и предоставление пользователям специализированных научных сервисов, сервисов информационных технологий и коллективного пользования [3–5]. В связи с этим достаточно упомянуть хорошо известные в профессиональной среде научно-образовательные сетевые консорциумы GÉANT (Европа), NORDUnet (Скандинавские страны), национальные научно-образовательные сети Internet2 (США), DFN (Германия), SURFnet (Нидерланды), RENATER (Франция), GARR (Италия) и др.

Стоит заметить, что пользователями ведущих NREN, помимо научных и образовательных организаций разного

уровня и ведомственной принадлежности, являются также учреждения культуры и искусства, медицины и здравоохранения, включая библиотеки, музеи, архивы, медицинские научные и исследовательские институты и центры, больницы, а также издательства научной и учебной литературы как значимые источники данных для ЕЦПНЗ. Согласно сложившейся мировой практике функционирования и развития NREN, востребованные научные и образовательные ресурсы и сервисы преимущественно размещаются в инфраструктуре таких отраслевых сетей и в отдельных случаях доступны пользователям только при непосредственном подключении к ним.

В нашей стране основные функции NREN сегодня выполняет Национальная исследовательская компьютерная сеть нового поколения (НИКС, <https://www.niks.ru>), созданная в 2019 г. по заданию Минобрнауки России в результате интеграции независимо эксплуатировавшихся на протяжении 25 лет специализированных сетей – федеральной университетской сети RUNNet и сети Российской академии наук RASNet [6–8]. В соответствии с поручением Минобрнауки России функции администратора и оператора НИКС на основании государственного задания выполняет Межведомственный суперкомпьютерный центр РАН – филиал ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН (МСЦ РАН).

2. НИКС: общие сведения и особенности архитектуры

В инфраструктурном отношении НИКС представляет собой глобальную географически распределенную гетерогенную сеть передачи данных федерального масштаба с присутствием по состоянию на 2020 г. в 34 субъектах страны. НИКС напрямую предоставляет телекоммуникационные услуги более 150 государственным организациям высшего образования и науки, в большинстве своем подведомственным Минобрнауки России [7, 8]. В обмене данными между собой и с зарубежными организациями (подключенными к своим локальным NREN) с использованием инфраструк-

турных возможностей НИКС по приблизительным оценкам участвуют более 300 профильных российских организаций.

К сети подключено 16 ведущих российских суперкомпьютерных центров (СКЦ) науки и образования, более 150 центров коллективного пользования научным оборудованием (ЦКП), более 100 уникальных научных установок (УНУ), с обеспечением безбарьерного доступа пользователей к таким объектам научной инфраструктуры коллективного пользования (при наличии принципиальной возможности).

На основе глобальной доверенной среды передачи данных реализуется сетевая связность участников научного, научно-технического и инновационного взаимодействия, в том числе федеральных органов управления наукой и образованием, научных организаций и образовательных организаций высшего образования, создаваемых в рамках Национального проекта «Наука» научно-образовательных центров мирового уровня (НОЦ), научных центров мирового уровня (НЦМУ), центров компетенции научно-технологической инициативы (ЦК НТИ).

В отношении текущего уровня технологического развития можно отметить, что магистральная инфраструктура НИКС простирается от Амстердама до Хабаровска, при этом типичная пропускная способность каналов связи внутри России составляет от 1 до 10 Гбит/с. Сеть имеет два независимых подключения к зарубежным NREN через инфраструктуру международных консорциумов GÉANT и NORDUnet с пропускной способностью по 10 Гбит/с [4–6].

Выстроенное на базе НИКС (и ее сетей-предшественниц) многолетнее устойчивое взаимодействие с европейскими межгосударственными консорциумами научно-образовательных сетей, исторически воспринимающих ее в качестве российской NREN, предоставляет российским организациям-пользователям возможности полноправного участия в международных исследовательских проектах, обеспечивает инфраструктурную поддержку совместных исследований, доступ через реализованную связность к исследовательским установкам класса «мегасайенс», вос-

требуемым ресурсам и сервисам NREN, предоставляет возможности для трансфера перспективных ИКТ.

В экосистеме НИКС расположены потенциальные источники цифрового контента для ЕЦПНЗ, включая многочисленные российские научные и образовательные веб-ресурсы и сервисы, отраслевые государственные информационные системы федерального и регионального уровней, платформы дистанционного обучения, реестры онлайн-курсов образовательных организаций, проблемно-ориентированные порталы, электронные библиотеки и архивы, тематические и междисциплинарные цифровые коллекции научных данных и др.

Одной из первоочередных задач в текущих реалиях является предоставление повсеместного защищенного доступа учащихся и преподавателей к интенсивно развиваемым и внедряемым в системе образования платформам онлайн-обучения, в том числе в рамках реализуемого в настоящее время глобального интегрирующего проекта ГИС «Современная цифровая образовательная среда» (СЦОС). НИКС должна отводиться первоочередная роль в части предоставления инфраструктурной платформы для организации доступа в защищенном сегменте к подобного рода объектам критической информационной инфраструктуры сферы образования и науки, федеральным и государственным информационным системам на основе сертифицированных решений с применением технологий VPN и современных протоколов шифрования сетевого трафика.

Архитектуру платформы НИКС, которую целесообразно рассматривать в качестве инфраструктурно-сервисной основы единой цифровой среды сферы науки и образования страны (*рис. 1*), можно представить, таким образом, в разрезе следующих ее ключевых компонентов и соответствующих им задач, ориентированных, в первую очередь, на удовлетворение постоянно растущих потребностей целевых пользователей и способствующих интеграции на базе сети потенциала российского научно-образовательного общества [7, 8]:

- сетевая связность участников со специальными требованиями, сервисы уровня инфраструктуры;
- доверенная среда передачи данных, безбарьерный доступ к объектам научной инфраструктуры коллективного пользования, цифровому научно-образовательному контенту;
- инфраструктура для цифровых платформ (ЦП) Минобрнауки России, отраслевых прикладных ИКТ-платформ, государственных информационных систем;
- содействие международному сотрудничеству в сфере образования, науки и технологий;
- информационная безопасность и федеративная аутентификация;
- базовые сетевые сервисы, сервисы телематических служб, сервисы информационных технологий.

Рис. 1. НИКС как инфраструктурно-сервисная основа единой цифровой среды сферы науки и образования

НИКС в рамках запланированной на ближайшие годы комплексной модернизации инфраструктуры и дальнейшей географической экспансии [7, 8] нацелена на подключение максимального числа ведущих научных и образовательных организаций страны, основных участников научного, науч-

но-технического и инновационного взаимодействия, размещение в своей доверенной и защищенной среде востребованных объектов научной инфраструктуры коллективного пользования в первую очередь отраслевых СКЦ (во взаимодействии с Национальной суперкомпьютерной инфраструктурой, в концепции создания и обеспечения функционирования которой закреплены соответствующие роли и функции НИКС).

3. Сервисная платформа НИКС

НИКС использует для решения собственных задач при эксплуатации сети, предоставляет своим пользователям, принимает участие во внедрении и развитии как «традиционных» сетевых, так и специализированных «нишевых» сервисов для образования и науки, которые можно классифицировать и подразделить следующим образом [9]:

- инфраструктурные сервисы;
- базовые сетевые сервисы и сервисы телематических служб;
- сервисы мониторинга и управления инфраструктурой;
- общие сервисы информационных технологий;
- специализированные сервисы для науки и образования;
- профессиональные сервисы.

В отношении построения отвечающего современным требованиям ЕЦПНЗ, объединяющего разнородные и расположенные в распределенной сетевой среде научные и образовательные ресурсы, особая роль, как представляется, должна быть отведена сервисам информационной и сетевой безопасности, сбора и анализа статистики использования ресурсов, а также федеративной аутентификации, авторизации и контроля доступа.

Технологии федеративной аутентификации (Authentication and Authorization Infrastructure, AAI) широко интегрированы в публичное Интернет-пространство и используются для бесшовного перехода между массово востребованными

ресурсами коллективного пользования общего назначения. Применительно к сфере науки и образования эти технологии решают задачу создания и обеспечения функционирования безбарьерной доверенной среды для предоставления студентам, преподавателям, научным сотрудникам, исследователям возможностей повсеместного доступа к научной и образовательной информации (в том числе с разными правами и в отсутствии жесткой «привязки» к IP-адресам конкретной организации) [10–14].

Соответствующие методики и технологии управления доступом развиты и успешно эксплуатируются в рамках удостоверяющих федераций, представляющих собой объединения сервис-провайдеров и провайдеров идентификации, присоединившихся к общему регламенту в целях безопасного обмена информацией о пользователях (при взаимодействии с системой управления учетными записями) и ресурсах и предоставления доступа к последним в соответствии с концепцией «единого окна» (Single Sign On, SSO) [10, 11]. При этом задействуются единые учетные данные пользователя с возможностью сквозной аутентификации на разных входящих в удостоверяющую федерацию ресурсах, которая производится однократно на узле идентификации «домашней» организации (с которой пользователь аффилирован).

Примерами предоставляемых крупными сервис-провайдерами ресурсов с возможностями федеративного доступа являются базы данных научного цитирования Scopus и Web of Science, полнотекстовые базы научной литературы и периодики Elsevier, Springer, EBSCO, Cambridge University Press, Wiley & Sons, IEEE и др., отдельные цифровые коллекции с результатами уникальных тематических научных исследований.

Специалистами НИКС создана национальная удостоверяющая федерация RUNNetAAI [13, 14], которая с 2018 г. участвует в международном проекте eduGAIN (<https://edugain.org>) – интерфедерации, объединяющей 70 национальных федераций по всему миру с 4 тыс. узлами провайдеров идентификации и более 3 тыс. узлами сервис-провайдеров [3]. В рамках RUNNetAAI реализован

и функционирует в интересах российских организаций-участниц федеративный доступ к Scopus и Web of Science, к системе «Антиплагиат» и ряду других ресурсов.

Следует заметить, что технологии ААИ позволяют, при налаживании обмена необходимой информацией между входящими в удостоверяющую федерацию провайдерами, формировать достоверную статистику использования ресурсов, к примеру, в рамках проекта национальной подписки на научные информационные ресурсы, обязанности оператора которой с 2020 г. возложены на РФФИ (вопросы участия фонда в RUNNetAAI находятся в стадии проработки).

В качестве других примеров сервисов информационных технологий и специализированных прикладных сервисов, в том числе с федеративным доступом, эксплуатируемых и развиваемых в настоящее время или планируемых к реализации на базе НИКС в ближайшей перспективе, можно указать на [6, 7, 9]:

- сервис международного роуминга в Wi-Fi сетях для научно-образовательного сообщества с едиными учетными данными и аутентификацией на стороне «домашней» организации в рамках проекта eduroam (<https://eduroam.ru>) [12, 13, 15];

- сервис безопасного доступа к НИКС и локальным сетям пользователей из публичных сетей на базе свободно распространяемого программного обеспечения (с учетом опыта международного проекта eduVPN, <https://edupvn.org>);

- облачные сервисы коллективного пользования и совместной работы на базе свободно распространяемого программного обеспечения;

- облачные сервисы распределенной работы с научными данными (архивное и временное хранение, виртуализация, обмен данными, обработка и анализ);

- сервисы коммуникаций в режиме реального времени для проведения конференций, семинаров, персонального профессионального общения, научные социальные сети (ве-

бинары, ВКС, стриминговые трансляции, участие в международных проектах eduMEET и др.);

— сервисы визуализации и проведения численных расчетов — «научные блокноты» (Science Notebook as a Service, SNaaS).

Приведенный список не претендует на полноту — так, здесь оставлены без внимания перспективные (с учетом профильной деятельности и компетенций сотрудников МСЦ РАН) прикладные сервисы высокопроизводительных вычислений и искусственного интеллекта [16, 17], сервисы генерации и распространения цифровых сертификатов, разработки и тестирования на базе инфраструктуры НИКС новых ИКТ, сервисы в контексте набирающей популярность технологии блокчейн применительно к оптимизации издательского процесса, рецензирования научных статей, грантовых проектов, прикладной наукометрии и т. д.

Работа выполнена в МСЦ РАН в рамках государственного задания № 0580-2021-0014 и в рамках проекта РФФИ № 20-07-00773.

Литература

1. Антопольский А. Б., Каленов Н. Е., Серебряков В. А., Сотников А. Н. О едином цифровом пространстве научных знаний // Вестник Российской академии наук, 2019. Т. 89. № 7. С. 728–735.
2. Савин Г. И. Единое цифровое пространство научных знаний: цели и задачи // Информационные ресурсы России, 2020. № 5. С. 3–5.
3. GEANT Compendium of National Research and Education Networks in Europe — 2019 Edition. <https://compendium.geant.org>
4. Абрамов А. Г., Евсеев А. В. RUNNet как национальная научно-образовательная сеть России: цели, основные задачи, телекоммуникационная инфраструктура и сервисы // Информатизация образования и науки, 2018. № 4(40). С. 3–15.
5. Abramov A. G., Evseev A. V. RUNNet: infrastructural and service basis of the national research and education network of the Russian Federation // Proc. VIII Int. Conf. «Distributed Computing and Grid-technologies in Science and Education» (GRID 2018), Dubna, September 10–14, 2018. P. 52–57.
6. Абрамов А. Г., Евсеев А. В. Концептуальные аспекты создания в Российской Федерации национальной исследовательской компьютерной сети нового поколения // Информационные технологии, 2019. Т. 25. № 12. С. 724–733.

7. Концепция функционирования и развития Национальной исследовательской компьютерной сети нового поколения на 2020–2024 годы (проект). М.: МСЦ РАН, 2020. 47 с.
8. Абрамов А. Г., Гончар А. А., Евсеев А. В., Савин Г. И., Шабанов Б. М. Национальная исследовательская компьютерная сеть нового поколения: текущее состояние и концепция развития // Информационные технологии, 2020 (направлено в редакцию).
9. Абрамов А. Г. Сервисная платформа национальной исследовательской компьютерной сети нового поколения в контексте перспектив развития // Информатизация образования и науки, 2020. № 4(48) (принято к публикации).
10. Chadwick D. W. Federated Identity Management // In: Foundations of security analysis and design V. Springer Berlin Heidelberg. 2009. P. 96–120.
11. Bertino E., Takahashi K. Identity Management: Concepts, Technologies, and Systems. Artech House, 2011. 198 p.
12. Овсянников А. П., Савин Г. И., Шабанов Б. М. Удостоверяющие федерации научно-образовательных сетей // Программные продукты и системы, 2012. № 4. С. 3–7.
13. Абрамов А. Г., Васильев И. В., Порхачёв В. А. Развитие инфраструктуры аутентификации и авторизации для удостоверяющей федерации в рамках проектов eduGAIN и eduroam на базе сети RUNNet // ИТНОУ: Информационные технологии в науке, образовании и управлении, 2017. № 4. С. 56–64.
14. Абрамов А. Г., Васильев И. В., Порхачёв В. А. Принципы функционирования и управления удостоверяющей федерацией RUNNetAAI в рамках интерфедеративного взаимодействия с проектом eduGAIN // Информатизация образования и науки, 2019. № 2(42). С. 40–47.
15. Абрамов А. Г., Васильев И. В., Морин Ю. Н., Овсянников А. П., Порхачёв В. А. Вопросы совершенствования российского сегмента сервиса роуминга в беспроводных сетях eduroam в условиях интеграции научно-образовательных сетей RUNNet и RASNet // Труды НИИСИ РАН, 2019. Т. 9. № 6. С. 67–76.
16. Савин Г. И., Шабанов Б. М., Баранов А. В., Овсянников А. П., Гончар А. А. Об использовании федеральной научной телекоммуникационной инфраструктуры для суперкомпьютерных вычислений // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Вычислительная математика и информатика, 2020. Т. 9. № 1. С. 20–35.
17. Шабанов Б. М., Овсянников А. П., Баранов А. В., Лещев С. А., Долгов Б. В., Дербышев Д. Ю. Проект распределенной сети суперкомпьютерных центров коллективного пользования // Программные системы: теория и приложения, 2017. Т. 8. № 4(35). С. 245–262.

References

1. Antopolskii A. B., Kalenov N. E., Serebriakov V. A., Sotnikov A. N. O edinom tsifrovom prostranstve nauchnykh znaniy // Vestnik Rossiiskoi akademii nauk, 2019. T. 89. № 7. P. 728–735.
2. Savin G. I. Edinoe tsifrovoe prostranstvo nauchnykh znaniy: tseli i zadachi // Informatsionnye resursy Rossii, 2020. № 5. P. 3–5.
3. GÉANT Compendium of National Research and Education Networks in Europe – 2019 Edition. <https://compendium.geant.org>.
4. Abramov A. G., Evseev A. V. RUNNet kak natsionalnaia nauchno-obrazovatelnaia set Rossii: tseli, osnovnye zadachi, telekommunikatsionnaia infrastruktura i servisy // Informatizatsiia obrazovaniia i nauki, 2018. № 4(40). P. 3–15.
5. Abramov A. G., Evseev A. V. RUNNet: infrastructural and service basis of the national research and education network of the Russian Federation // Proc. VIII Int. Conf. «Distributed Computing and Grid-technologies in Science and Education» (GRID 2018), Dubna, September 10–14, 2018. P. 52–57.
6. Abramov A. G., Evseev A. V. Kontseptualnye aspekty sozdaniia v Rossiiskoi Federatsii natsionalnoi issledovatel'skoi kompiuternoi seti novogo pokoleniia // Informatsionnye tekhnologii, 2019. T. 25. № 12. P. 724–733.
7. Kontseptsii funktsionirovaniia i razvitiia Natsionalnoi issledovatel'skoi kompiuternoi seti novogo pokoleniia na 2020–2024 gody (proekt). M.: MSTs RAN, 2020. 47 p.
8. Abramov A. G., Gonchar A. A., Evseev A. V., Savin G. I., Shabanov B. M. Natsionalnaia issledovatel'skaia kompiuternaia set novogo pokoleniia: tekushchee sostoianie i kontseptsii razvitiia // Informatsionnye tekhnologii, 2020 (napravleno v redaktsiiu).
9. Abramov A. G. Servisnaia platforma natsionalnoi issledovatel'skoi kompiuternoi seti novogo pokoleniia v kontekste perspektiv razvitiia // Informatizatsiia obrazovaniia i nauki, 2020. № 4(48) (priniato k publikatsii).
10. Chadwick D. W. Federated Identity Management // In: Foundations of security analysis and design V. Springer Berlin Heidelberg. 2009. P. 96–120.
11. Bertino E., Takahashi K. Identity Management: Concepts, Technologies, and Systems. Artech House, 2011. 198 p.
12. Ovsyannikov A. P., Savin G. I., Shabanov B. M. Udostoveriaiushchie federatsii nauchno-obrazovatelnykh setei // Programmnye produkty i sistemy. 2012. № 4. P. 3–7.
13. Abramov A. G., Vasilyev I. V., Porkhachev V. A. Razvitie infrastruktury autentifikatsii i avtorizatsii dlia udostoveriaiushchei federatsii v ramkakh proektov eduGAIN i eduroam na baze seti RUNNet // ITNOU: Informatsionnye tekhnologii v nauke, obrazovanii i upravlenii, 2017. № 4. P. 56–64.

14. Abramov A. G., Vasilyev I. V., Porkhachev V. A. Printsipy funktsionirovaniia i upravleniia udostoveriaiusheiei federatsiei RUN-NetAAI v ramkakh interfederativnogo vzaimodeistviia s proektom eduGAIN // Informatizatsiia obrazovaniia i nauki, 2019. № 2(42). P. 40–47.

15. Abramov A. G., Vasilyev I. V., Morin Yu.N., Ovsyannikov A. P., Porkhachev V. A. Voprosy sovershenstvovaniia rossiiskogo segmenta servisa rouminga v besprovodnykh setiakh eduroam v usloviakh integratsii nauchno-obrazovatelnykh setei RUNNet i RASNet // Trudy NIISI RAN, 2019. T. 9. № 6. P. 67–76.

16. Savin G. I., Shabanov B. M., Baranov A. V., Ovsyannikov A. P., Gonchar A. A. Ob ispolzovanii federalnoi nauchnoi telekommunikatsionnoi infrastruktury dlia superkompiuternykh vychislenii // Vestnik Iuzhno-Uralskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriia: Vychislitelnaia matematika i informatika, 2020. T. 9. № 1. P. 20–35.

17. Shabanov B. M., Ovsyannikov A. P., Baranov A. V., Leshchev S. A., Dolgov B. V., Derbyshev D.Yu. Proekt raspredelennoi seti superkompiuternykh tsentrov kollektivnogo polzovaniia // Programmnye sistemy: teoriia i prilozheniia, 2017. T. 8. № 4(35). P. 245–262.