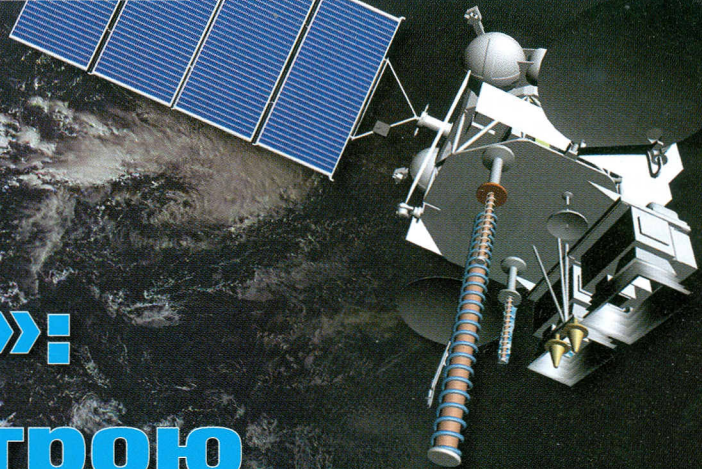


А. Ильин.  
«Новости космонавтики»

# «Электро-Л»: три года в строю



**20** января исполнилось 3 года с момента запуска геостационарного гидрометеорологического космического комплекса «Электро-Л».

«Электро-Л» – принципиально новый аппарат, построенный в НПО имени С. А. Лавочкина на базе новой космической платформы «Навигатор». Преемственность состоит в системе управления, созданной МОКБ «Марс» для «КазСата», «Монитора» и «Экспресса-МД» и доработанной с учетом всех замечаний, выявленных при подготовке к пуску и в ходе эксплуатации названных КА.

Стартовая масса аппарата – 1766 кг, в том числе масса модуля полезной нагрузки (ПН) – 550 кг. Плановый срок активного существования – 10 лет.

## Мне сверху видно все!

«Электро-Л» призван обеспечивать Росгидромет оперативной информацией для анализа и прогноза погоды, изучения состояния акваторий морей и океанов, состояния ионосферы и магнитного поля Земли, мониторинга условий для полетов авиации. Кроме того, аппарат способен вести мониторинг климата и глобальных изменений, осуществлять контроль чрезвычайных ситуаций и экологический контроль окружающей среды.

Модуль ПН имеет в своем составе целевую аппаратуру (сканер МСУ-ГС и комплекс мониторинга ГГак-Э), бортовую систему сбора данных (БССД) и бортовой радиотехнический комплекс (БРТК). Кроме того, на спутнике установлена аппаратура приема и ретрансляции данных от автономных метеорологических платформ и сигналов аварийных буев системы КОСПАС/SARSAT.

Многозональное сканирующее устройство МСУ-ГС состоит из двух блоков для раздельной съемки в инфракрасном диапазоне с разрешением 4 км (семь каналов) и в видимом диапазоне с разрешением 1 км (три канала).

С помощью гелиогеофизического аппаратного комплекса ГГак-Э «Электро-Л» способен собирать данные о гелиогеофизической обстановке на высоте орбиты КА (ГСО).

Периодичность съемки МСУ-ГС – 30 минут, но при необходимости она может быть уменьшена до 15 минут.

Именно три канала видимого спектра (к нему с определенной долей условности можно причислить и ближний ИК) создают великолепные по красоте фотографии – своего рода визитную карточку «Электро-Л».

Из-за того, что при сведении трех диапазонов в RGB-изображение красный цвет подменяется ближним инфракрасным, на оригинальных фотографиях вместо привычной зелени земных лесов видны оранжевые области. Такая цветовая схема позволяет получить больше информации о земной поверхности, а для возвращения зеленого цвета приходится пользоваться графическими редакторами.

За три года работы аппарат позволил увидеть много интересного: пылевые бури в Саудовской Аравии и Сахаре, дым лесных пожаров и необычные облака, мощный тайфун Хайянь на Филиппинах. В частности, 15 февраля 2013 г. «Электро-Л» удалось запечатлеть след падения челябинского метеорита, 21 февраля он наблюдал циклон Харуна, бушующий над Мадагаскаром, 10 мая зафиксировал солнечное затмение в Австралии.

На снимках, переданных 10 октября прошлого года, можно заметить последствия войны в Сирии: видны очаги крупных пожаров, от которых поднимается черный дым.

Следует отметить, что почти все снимки «Электро-Л» находятся в открытом доступе на FTP-сервере Научного центра оперативного мониторинга Земли (НЦ ОМЗ) по адресу <ftp://electro@ftp.ntsomz.ru/>

Материалы о работе отечественного «геостационарного метеоролога» появлялись не только в российских СМИ – рассказ о работе аппарата был размещен на сайте американского Планетного общества (Planetary Society). И это далеко не единственный случай, когда новый российский метеоспутник вызывает интерес на Западе.

С помощью «Электро-Л» впервые была развернута система сбора и передачи данных с наблюдательной сети Росгидромета. В сеть вошли автономные пункты передачи данных, расположенные в местах метеонаблюдений по всей территории России. Данные поступают на борт «Электро-Л», а он, в свою очередь, ретранслирует их на станции приема, установленные в центрах ФГБУ «НИЦ Планета».

Система позволяет в кратчайшие сроки выявлять природные катаклизмы и оперативно оповещать жителей страны о надвигающемся ненастье. Только за 3-й квартал 2013 г. с помощью спутниковых радиотерминалов передано 250 000 сообщений: гидрометеорологическая и геофизическая информация в синоптические сроки (каждые три часа), штормовые и экстренные телеграммы (с периодичностью до двух минут).

## Глаз на геостационаре

О работе аппарата «Электро-Л», о проблемах и перспективах проекта мы поговорили с генеральным директором НПО имени С. А. Лавочкина **Виктором Владимировичем Хартовым** и с начальником – главным конструктором Центра информационных систем **Владимиром Евгеньевичем Бабышкиным**.

– Поздравляю вас с третьей годовщиной работы первого нового российского геостационарного гидрометеорологического спутника «Электро-Л». Скажите, пожалуйста, как вы оцениваете работу аппарата? Есть ли претензии к целевой аппаратуре спутника?

**В. Е. Бабышкин (В. Б.):** Это первый новый аппарат, который создавался для работы



на геостационарной орбите, с новейшим составом целевой аппаратуры – как для съемки в видимом и ИК-диапазонах, так и для ретрансляции метеоданных. Аппарат выполняет свои целевые функции в рамках

того соглашения, которое было достигнуто при передаче КА в опытную эксплуатацию.

На сегодняшний день функция ретрансляции работает без замечаний. Конечно, бывают и сбои, но все быстро восстанавливается – это нормально.

**В. В. Хартов (В. Х.):** Хочу добавить по МСУ-ГС. Три года назад, когда возникли про-

блемы, мы задались вопросом: а возможно ли найти замену целевой аппаратуре в Европе? Обращались в Thales, Astrium. Выяснилось: для спутников, работающих в трехосной ориентации, они смогут предоставить подобную аппаратуру только через три года! Да, есть спутники вращающиеся, где сканирование идет за счет вращения: у них есть свои плюсы – относительная простота конструкции, но есть и минусы – разные угловые скорости и т. д.

Получается: прибор, который создан в России в ОАО «Российские космические





системы» для «Электро-Л», с точки зрения своих возможностей и качества – впереди Европы! Да, к нему есть претензии по ряду спектральных каналов, где результат не тот, что был предусмотрен ТЗ, но в нескольких спектральных каналах, и особенно в видимом спектре, он дает прекрасные результаты. Многие видели эти изображения в Сети, и даже в американской прессе появлялись заметки на тему «Почему изображения, полученные российским спутником, красивее, чем снимки, сделанные аппаратами NASA?»

Несомненно – это колоссальный успех. Европейцы со всей своей мощью только подходят к созданию подобных вещей, а у нас он уже три года летает.

Недостатки МСУ-ГС вполне понятны, именно поэтому произошел сдвиг запуска «Электро-Л» № 2: проделана очень серьезная доработка – внесено процентов сорок изменений. Поскольку у нас имеется полное понимание причин неприятностей, есть большая надежда, что на втором аппарате мы получим эти спорные каналы с нужным качеством.

Хочу отметить: благодаря «Электро-Л» Россия значительно продвинулась в области ретрансляции и сбора метеоинформации. Остались в прошлом такие любимые киношниками кадры: зима, из избытки в шубе и валенках выскакивает метеоролог, что-то там измеряет и отправляет данные телеграфным ключом азбукой Морзе. Сегодня появились автоматические станции. И их можно установить там, где действительно нужно, а не только там, где есть возможность разместить «домик» с человеком.

Кроме того, снимки «Электро-Л» в оптическом диапазоне интересны и с философской точки зрения: рядом с Землей висит «глаз», который постоянно смотрит на половину нашей планеты. Интересно же? Очень интересно!

Впервые Россия имеет такой «глаз», который смотрит почти в реальном времени: мы получаем изображение каждые 30 минут, причем при необходимости, во время чрезвычайных ситуаций, можно получать картинку и раз в 15 минут. На втором аппарате мы планируем уменьшить это время до десяти минут, а в целом задача ставится так: одно изображение каждые пять минут.

В чем трудность? Необходимо обеспечить охлаждение и достаточный ресурс – ведь в устройстве используются механические зеркала. То, что наш аппарат имеет трехосную ориентацию, привело к необходимости создания двухкоординатного прецизионного привода – по сути, как в электронно-лучевой трубке телевизора, только механического и сканирующего с высочайшей точностью.

Эту систему разработало, а также написало всю необходимую математику ОКБ ИКИ в Тарусе. Смежников нужно хвалить! Прежде всего – «Российские космические системы» (РКС): проблем, конечно, много, но ведь, преодолевая все, коллектив создал сканер, который показал очень достойные для первого спутника новой серии результаты. Первый образец устройства, не имеющего на момент создания аналогов в Европе. Сегодня европейские фирмы только подходят к подобному.

В. Б.: Недовольство метеорологов выражается также в другом: в приеме, в обработ-

ке, в распространении информации. Много вопросов по наземному сегменту.

В. Х.: Получается, что претензии к тому, к чему мы вообще, по идее, не должны быть причастны: претензии к наземным потребительским сетям. Так уж сложилось, что в рамках космической системы мы должны делать и наземную сеть. Съедаются ресурсы, которые могли быть направлены на создание и модернизацию космической целевой аппаратуры, на повышение качества данных, необходимых метеорологам. Получается, на мой взгляд, достаточно странная ситуация: как если бы после запуска спутника связи его разработчик должен был всем раздать телевизоры. Абсурд, конечно, но так уж построена программа. Ее можно критиковать, но нужно выполнять... Мы прилагаем все усилия.

– Перед запуском «Электро-Л» радиационные холодильники аппарата проверяли в НПО «Молния». Результаты проверки не совпали с расчетом – повлияло ли это на последующую работу КА?

В. Х.: Особенность «Электро-Л» в том, что вся инфракрасная техника аппарата охлаждается пассивной системой с применением радиаторов, без всяких холодильных машин. Температура около 80 К, радиаторы требуют очень точного расчета. Это тоже большой шаг вперед – охлаждение за счет радиаторов, правильных тепловых связей, тонкого анализа процессов.

В. Б.: Мы проверяли радиационный холодильник в НПО «Молния». Проблема заключается в том, что для требуемого уровня температур (~80 К) очень трудно здесь, на Земле, создать условия, соответствующие условиям в космосе. Обычно космическое пространство имитируется на уровне температуры жидкого азота, в нашем же случае нужны более низкие температуры. В принципе можно проводить испытания при одних температурах, а потом за счет моделирования и специальных расчетных методик пересчитывать результат для условий реального космоса. Но тогда все зависит от точности методик – как говорится, что заложишь, то и получишь.

И такие расчеты проводились разработчиками этих уникальных холодильников – ОАО «Корпорация ВНИИЭМ» в Истре. Однако оказалось, что температура выходит за пределы допустимых значений. Было принято решение: во-первых, доработать конструкцию, и ее действительно серьезнейшим образом дорабатывали, а во-вторых, после доработок провести испытания в НПО «Молния» на так называемой «гелиевой стенке».

На стенде в НПО жидким гелием заполняется не вся «рубашка» вокруг испытательной камеры, а только одна стенка, сквозь которую проливается гелий. Таким образом, создается фрагмент охлаждающей поверхности, подобный космическому пространству.

Конечно, у таких испытаний есть свои особенности: нужно убедиться, что другие стенки не «светят» и не переизлучают. Результаты были получены, однако при прямых измерениях наблюдались температуры около 86 К. Несмотря на это, было принято решение допустить радиационные холодильники к эксплуатации.

Результаты же летных испытаний превзошли все наши ожидания! И сегодня

мы имеем блестящий итог – температуру на уровне 80 К, что полностью подтверждает правильность расчетных методик.

А дискуссия и вопросы в свое время возникли во многом из-за анализа уровня температур на похожих холодильниках, установленных на «Метеоре». Он работает на другой орбите, да и сами устройства размещены на нем иначе. На «Электро-Л» сделано таким образом, что эти холодильники вынесены за пределы всех элементов конструкций космического аппарата, чтобы взаимной облученности не было никакой. Они, по сути, полностью открыты космическому пространству, и перед ними нет ни одного элемента КА – ведь любой элемент будет обладать какой-то температурой, которую радиационный холодильник будет «видеть», что приведет к взаимному облучению.

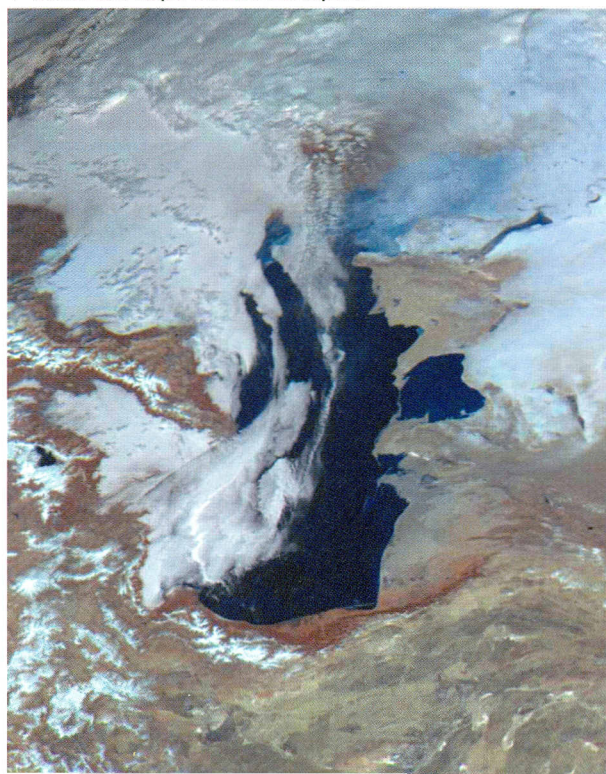
В. Х.: Еще раз отмечу: инфракрасная техника «Электро-Л» работает без всяких холодильных машин – пассивная система с применением радиатора, которая потребовала очень точных расчетов. Уже после запуска мы решили провести проверку радиаторов для второго аппарата в Германии, хотели получить прямые результаты измерений. Но и за границы, также как у нас в НПО «Молния», получить 80 К не удалось. Между тем в космосе такие температуры достигаются.

В мировой практике на спутниках чаще применяют холодильные машины, различные активные системы. В таких решениях есть свои плюсы: можно гораздо менее строго вести расчеты всех тепловых процессов. Однако, когда на космическом аппарате что-то лишнее крутится, это плохо: во-первых, снижение ресурса, а во-вторых, вибрации.

Наши радиационные холодильники, созданные НИИЭМ, – это большое достижение.

– Хотелось бы узнать не только о состоянии целевой аппаратуры, но и о работе «борта» – космической платформы «Навигатор». Есть ли вопросы, будут ли внесены изменения на следующих аппаратах?

▼ Каспийское море. Взгляд с «Электро-Л»





В. Б.: На первом аппарате всегда бывают какие-то вопросы, не все идеально получается. Есть отдельные замечания по системам. Повторю: на сегодняшний день, после трех лет эксплуатации, аппарат выполняет целевые функции.

Конечно, мы сделали выводы на будущее, ведь опыт летной эксплуатации – он бесценен. Все замечания, которые появляются на борту, анализируются, разбираются, и на следующих КА этот опыт будет учтен.

Если говорить об «Электро-Л» №2 – да, мы провели определенную модернизацию и устранили, как нам кажется, имеющиеся замечания, что должно повысить надежность работы.

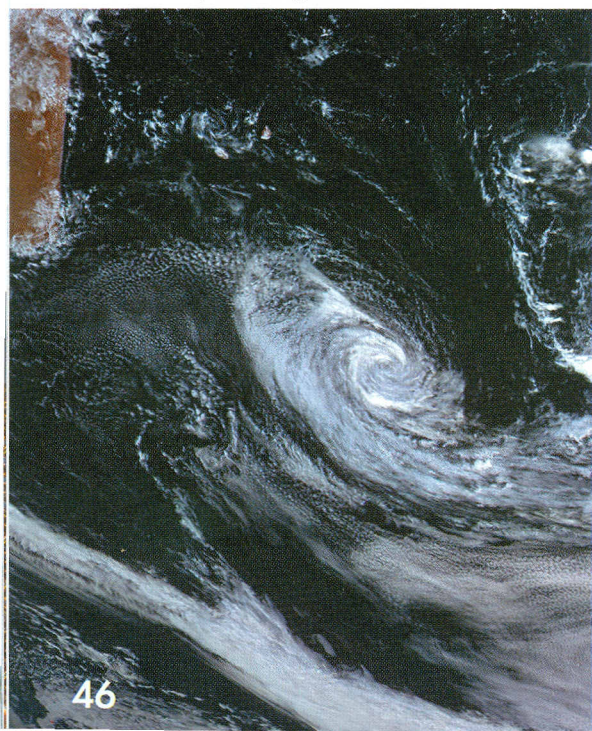
Мы доработали бортовой комплекс управления (БКУ), поставили систему автономной навигации. Требование по автономной навигации было прописано изначально: начиная со второго аппарата она будет применяться для решения задачи определения местоположения КА на орбите. Есть отказы по звездным датчикам, поэтому сегодня принято решение заменить их на зарубежные аналоги.

В. Х.: «Навигатор» как аппаратный набор, конечно, будет меняться. Принципы, алгоритмы – все будет переходить и на следующие версии. Мы постепенно меняем платформу, повышая ее надежность. Например, звездные приборы ставим от фирмы SODERN, потому что не можем справиться с российскими изготовителями – заставить их обеспечить определенный уровень качества. Так проще? Конечно, проще! Хотя это стратегически не совсем правильно, даже совсем неправильно: если мы разучимся делать полностью российские спутники – это будет плохо, мягко говоря, это угроза национальной безопасности.

Мы идем между двумя крайностями: с одной стороны, нам нужно, чтобы спутник работал долго и успешно, с другой – желательно использовать системы только отечественной разработки.

По «Навигатору» происходит плавная модернизация, применяются более надежные комплектующие. В действующей программе присутствует много аппаратов на этой платформе, однако мы уже готовим и следующее

▼ Циклон в Индийском океане



поколение решений, глубоко унифицированное с нашей планетной программой. Естественно, ведь любое решение имеет свой жизненный цикл – и за ним приходит следующее. Как раз сейчас в рамках лунных программ мы готовим другие решения, которые затем лягут в основу новых проектов, в том числе тех, которых пока нет в контрактах.

В. Б.: Сегодня происходит модернизация «Навигатора»: мы анализируем замечания, проводим доработки с целью повышения надежности.

Платформа будет жить и работать в астрофизике. «Спектр-РГ» готовится к пуску. К сожалению, произошла задержка из-за срыва поставок целевой аппаратуры иностранными партнерами. Для «Спектра-УФ» продолжается модернизация платформы.

В зависимости от того, какая задача ставится, «Навигатор» модернизируется и дорабатывается под конкретную задачу – например, для аппаратов системы «Арктика».

Жизненный путь платформы определен сегодня как минимум до 2021 г., когда должен быть запущен первый аппарат «Электро-М». Для него мы создадим другую платформу, учитывающую весь предыдущий опыт.

– Расскажите, пожалуйста, о перспективах: «Электро-Л» №2 и 3, «Арктика», метеоспутник нового поколения «Электро-М».

В. Б.: На «Электро-Л» №2 будет стоять другая целевая нагрузка, и, хотя устройство МСУ-ГС сохранило свою аббревиатуру, это будет абсолютно другой прибор. Он, как и на первом аппарате, будет иметь 10 каналов – семь ИК и три видимого диапазона, но работать они будут совсем в другом режиме; там будут совершенно другие приемники, другая съемка. Мы считаем, что на этот раз сможем обеспечить хорошую работу всех ИК-каналов.

На первом космическом аппарате выполнялась последовательная съемка неполных шести минут, а на втором аппарате съемка по всем десяти каналам будет производиться одновременно. Это позволит повысить точность определения метеорологических параметров в атмосфере.

Средства выведения для «Электро-Л» №2 изготовлены, сам аппарат также создан и укомплектован штатными образцами всех бортовых систем, за исключением МСУ-ГС. Вместо него пока поставлен технологический образец, с которым мы отрабатываем все служебные системы.

По поводу «Электро-Л» №3 есть решение Роскосмоса: нас уже уведомили письмом, что запуск КА планируется осуществить с задействованием РН «Протон-М» с разгонным блоком ДМ-03. Сегодня мы закладываем, что «Электро-Л» №3 будет точной копией второго аппарата, однако работа №2 в космосе покажет.

По срокам. Второй аппарат должен отправиться в космос уже в этом году, а третий согласно плану – в 2015 г. Однако с появлением «Арктики» количество уникальных приборов МСУ-ГС, которые должны изготовить РКС, увеличилось. Первый комплект, который мы хотели взять на «Электро-Л» №3, мы отдаем на «Арктику», с тем чтобы начать летные испытания этой системы в более ранние сроки. Поэтому, возможно, «Электро-Л» №3 будет перенесен на 2016 год.

В. Х.: Когда видишь фотографии, переданные «Электро-Л», понимаешь, что геостационар не совсем наше место: хорошо видно Индию и только сверху где-то Россия. Переход к высокоэллиптической системе «Арктика» – совершенно правильное действие. Нам нужно иметь «глаз» и на эллипсе – это даст другое качество, но и задача совершенно другого уровня сложности.

При движении по эллиптической орбите у нас постоянно меняется расстояние, меняются углы, мы регулярно должны подкручивать аппарат. Движение спутника не должно приводить к смазыванию изображений, поэтому его нужно постоянно доворачивать: КА должен всегда держать точку съемки, в течение 10–15 минут. Задача расчета тепловых эффектов для эллипса намного сложнее, чем для геостационарной орбиты.

Именно поэтому мы выиграли конкурс: у нас есть не только «Электро-Л», но и «Спектр-Р», летающий на высокоэллиптической орбите, который доказал, что мы можем управлять осью аппарата с нужной точностью. Опыт работы над проектами «Электро-Л» и «Спектр-Р» дает нам уверенность, что и с «Арктикой» все получится.

В. Б.: По аппаратам системы «Арктика» был объявлен конкурс – и НПО имени С. А. Лавочкина, как уже сказал Виктор Владимирович, его выиграло. Мы подписали государственный контракт, сегодня развертываются работы, и, более того, два этапа из этого госконтракта мы уже выполнили: разработку документации и изготовление наземных экспериментальных изделий – антенного и конструкторского макета.

Кооперация создана, техническое задание написано, договора заключены и авансы выплачены. Развернуты работы в соответствии с условиями договора. Пока срывов сроков нет. Узкое место будет, возможно, МСУ-ГС – оно, напомним, планируется такое же, как на «Электро-Л» №2 и 3.

В. Б.: На смену аппаратам «Электро-Л» должен прийти КА нового поколения с совершенно другим составом целевой аппаратуры – «Электро-М». Исходя из того, что срок активного существования «Электро-Л» №1 – десять лет, а стартовал он в 2011 г., первый аппарат новой серии должен быть запущен в 2021 г.

Первый аппарат будет носить статус экспериментального, однако при положительных результатах его отдельным решением можно будет передать в штатную эксплуатацию.

«Электро-М» – это принципиально другой аппарат: в его составе появятся пять абсолютно новых целевых приборов, другой МСУ-ГС (хотя аббревиатура и остается). У «Электро-Л» – десять каналов, а у нового КА Росгидромет требует наличия двадцати и чтобы они работали одновременно.

И еще. На «Электро-М» появляются такие сложные приборы, как Фурье-спектрометр, радиометр, радиометр радиационного баланса, датчик молний, новый комплекс гелиогеофизической аппаратуры. Аппарат получается настолько тяжелым, что рассматривается вариант разделения его на два: КА – часть приборов на одном, часть на другом. Возможно, такое разделение окажется эффективнее, чем запуск на новых тяжелых ракетах, которые появятся в будущем.