

Антон Иванов, директор  
Космического центра Сколтеха

” Да, пока освоение астероидов стоит космических денег и кажется фантастикой. Но мы можем постепенно воплощать эту шикарную идею в жизнь. Например, оптимизировать современные средства дистанционного зондирования Земли — они будут полезны и для разведки астероидов; совершенствовать космическую робототехнику, ведь понятно, что многие процессы ресурсодобывающей миссии должны быть полностью автоматизированы; развивать спутниковую связь — в частности, для обеспечения коммуникации между аппаратами первых внеземных старателей. Космический центр Сколтеха как раз этим и занимается. Все технологии, что я перечислил, актуальны прямо здесь и сейчас, так как, по сути, речь идёт о создании глобального бесшовного телекоммуникационного покрытия, позволяющего человеку быть на связи и пользоваться точнейшей навигацией в любой точке земного шара. Мы обучаем молодых специалистов, которые будут своими руками творить завтрашний день. И среди них, конечно же, найдутся романтики, которые не остановятся на земном применении этих технологий, а, заглянув в будущее, сложат мозаику из их функциональных возможностей и сделают освоение астероидов более дешёвой и реальной задачей.





# Достать звезду

Добыча полезных ископаемых за пределами Земли: начнётся ли в космосе золотая лихорадка

✉ АЛЁНА ЛЕСНЯК (ПРИ УЧАСТИИ АЛЕКСАНДРА ХАРЛАНА И ШАМИЛЯ БИКТИМИРОВА, СТУДЕНТОВ КОСМИЧЕСКОГО ЦЕНТРА СКОЛТЕХА)

Прямо сейчас над нашими головами пролетают тысячи гигантских камней, сплавленных из железа и никеля, а также из платины, золота, серебра и других дорогих и редких металлов. Речь, конечно же, об астероидах. До недавних пор эти сокровищницы были абсолютно недостижимы. Но сегодня человечество всерьёз планирует добывать на малых небесных телах полезные ископаемые.

Добыча ресурсов на астероидах, или, как часто говорят, asteroid mining, — последний тренд в освоении космоса. По крайней мере в широких кругах эта тема уже затмила некогда популярную идею с полётом на Марс. И понятно почему: колония на Марсе многим представляется красивой, безусловно важной, но совсем далёкой мечтой, которая пока требует лишь затрат — бесконечного вливания огромных денежных средств в безжизненную планету. Совсем другое дело — промышленное освоение астероидов. Это практично, злостно (ведь ресурсы Земли ограничены, а население только растёт) и, кажется, прибыльно. Как заявляет глав-

ный идеолог добычи полезных ископаемых в космосе — американская компания Planetary Resources, астероиды могут содержать до 800 килограмм платины, а это примерно 25 миллионов долларов!

Так когда же в космосе начнётся золотая лихорадка? И действительно ли земные запасы ценных металлов на исходе? «Кот Шрёдингера» объясняет, насколько реалистичны эти прогнозы.

## Земля опустела?

Первые опасения, связанные с исчерпаемостью земных ресурсов, возникли в конце XVIII века (к тому времени горная промышленность только набирала обороты). В 1798 году английский экономист и демограф Томас Мальтус опубликовал аналитический труд «Опыт закона о народонаселении», где утверждал, что количество жителей Земли растёт в геометрической прогрессии, а значит, так же быстро происходит и уничтожение средств к существованию, что неминуемо ведёт человечество к катастрофе. Точную дату наступления кризиса учёный не назвал — этот шаг сделали его последователи и критики, которые начали предсказывать будущее на основе темпов потребления природных ресурсов.



## Алюминиевое тысячелетие

// ОБЪЕМЫ ЗЕМНЫХ ЗАПАСОВ НЕКОТОРЫХ МЕТАЛЛОВ И СРОКИ ИХ ИСЧЕРПАНИЯ

Ресурс	Суммарное количество вещества, имеющегося в земной коре (трлн тонн)	Срок, на который хватит ресурсов при ежегодном росте потребления на 2 % (лет)
13 (Al) Алюминий	2 000 000	1 070
26 (Fe) Железо	1 400 000	890
28 (Ni) Никель	290	610
29 (Cu) Медь	1 700	740
30 (Zn) Цинк	2 200	780
47 (Ag) Серебро	2	730
50 (Sn) Олово	41	760
82 (Pb) Свинец	290	610

По данным IED (Minerals and Sustainable Development Project)

Согласно большинству современных прогнозов, благородных и редкоземельных металлов, необходимых для авиа-, ракетно- и приборостроения, робототехники, производства наноматериалов и микроэлектроники, едва ли хватит на ближайшие 50 лет.

Но тут есть с чем поспорить.

«Многие исследователи ошибочно прогнозируют наступление пика добычи металлов и истощения природных запасов, поскольку путают подтвержденные резервы с общими запасами ресурсов в земной коре. Оценки ещё не разведанных месторождений, например меди, в 40 раз превышают объёмы, идентифицированные в настоящее время, а это означает, что меди может хватить на несколько веков»,

— утверждают сотрудники Геологической службы США (United States Geological Survey) в статье 2016 года, опубликованной в научном журнале Resources.

К аналогичному заключению пришли учёные из Международного института окружающей среды и развития (IED) по итогам работы над проектом «Полезные ископаемые и устойчивое развитие» (Minerals and Sustainable Development Project). На примере восьми востребованных в промышленности и науке металлов они показали более или менее реалистичные сроки их исчерпания. В расчётах учитывался объём потребления и переработки этих ресурсов, а также их частичного возобновления.

Ещё один аргумент, подтверждающий отсутствие критической ситуации с ресурсами, — низкая заинтересованность государственных космических корпораций (NASA, ESA, «Роскосмос») в подготовке полномасштабных миссий для добычи полезных ископаемых на астероидах. Всерьёз, а точнее, настойчиво о проблеме истощения ресурсов и необходимости потрошить астероиды пока говорят только частные компании.

Однако пара государств — **США и Люксембург** — недавно поддержали частный asteroid mining законодательно. Но когда ещё понадобятся эти законы? Впрочем, это неплохо укрепляет имидж — престижно быть государ-

ством, где бизнес настолько мощный, что способен достать с неба звезду... ну, или почти звезду, ведь слово «астероид» происходит от древнегреческого термина, означающего «подобный звезде».

Наверное, мы спустили вас с небес на Землю — давайте-ка вернёмся обратно. Освоение космоса, как исследовательское (запуск новых орбитальных телескопов, зондов для изучения дальних планет и спутников), так и коммерческое (развитие спутниковой связи, систем навигации, технологий дистанционного зондирования Земли), идёт непрерывно и размеренно. Серьёзный качественный скачок мог бы произойти при наличии возможности прямо в космосе получать некоторые строительные и топливные материалы, а не доставлять их с Земли. В общем, добыча полезных ископаемых на астероидах необходима и, кажется, неизбежна. Только вряд ли первые космические горняки (которыми, конечно же, будут не люди, а машины) примутся за дело в ближайшие 10–20–30 лет. Скорее всего, это случится уже не при нас. Но чтобы вообще случилось, нужно продолжать мечтать и шаг за шагом продвигаться к цели.

## Нельзя просто взять и освоить

// ТРИ ГЛАВНЫЕ ЗАДАЧИ КОСМИЧЕСКОЙ ГЕОЛОГОРАЗВЕДКИ

- 1) ВЫБОР ПОТЕНЦИАЛЬНО ПРИГОДНОГО АСТЕРОИДА** — в первые десятилетия развития внеземной добычи ресурсов будут котироваться не особо крупные и не слишком удалённые от Земли объекты.
- 2) РАЗВЕДКА ТОЧНОГО СОСТАВА НЕБЕСНОГО ТЕЛА И ИМЕЮЩИХСЯ В НЁМ РЕСУРСОВ** — основными методами будут спектральный анализ и детальное изучение пробы грунта в космической лаборатории наподобие той, что установлена на марсоходе Curiosity.
- 3) ОПРЕДЕЛЕНИЕ СПОСОБА ДОБЫЧИ** — всё зависит от технической оснащённости и особенностей грунта. Извлекать ископаемые можно бурением, намагничиванием, сбором поверхностного слоя (для астероидов, представляющих собой летающую грудку расплавленных пород). Предполагается, что для добычи ресурсов астероид будут перемещать ближе к Земле в точки Лагранжа (L1 или L2), где он зависнет почти без движения.



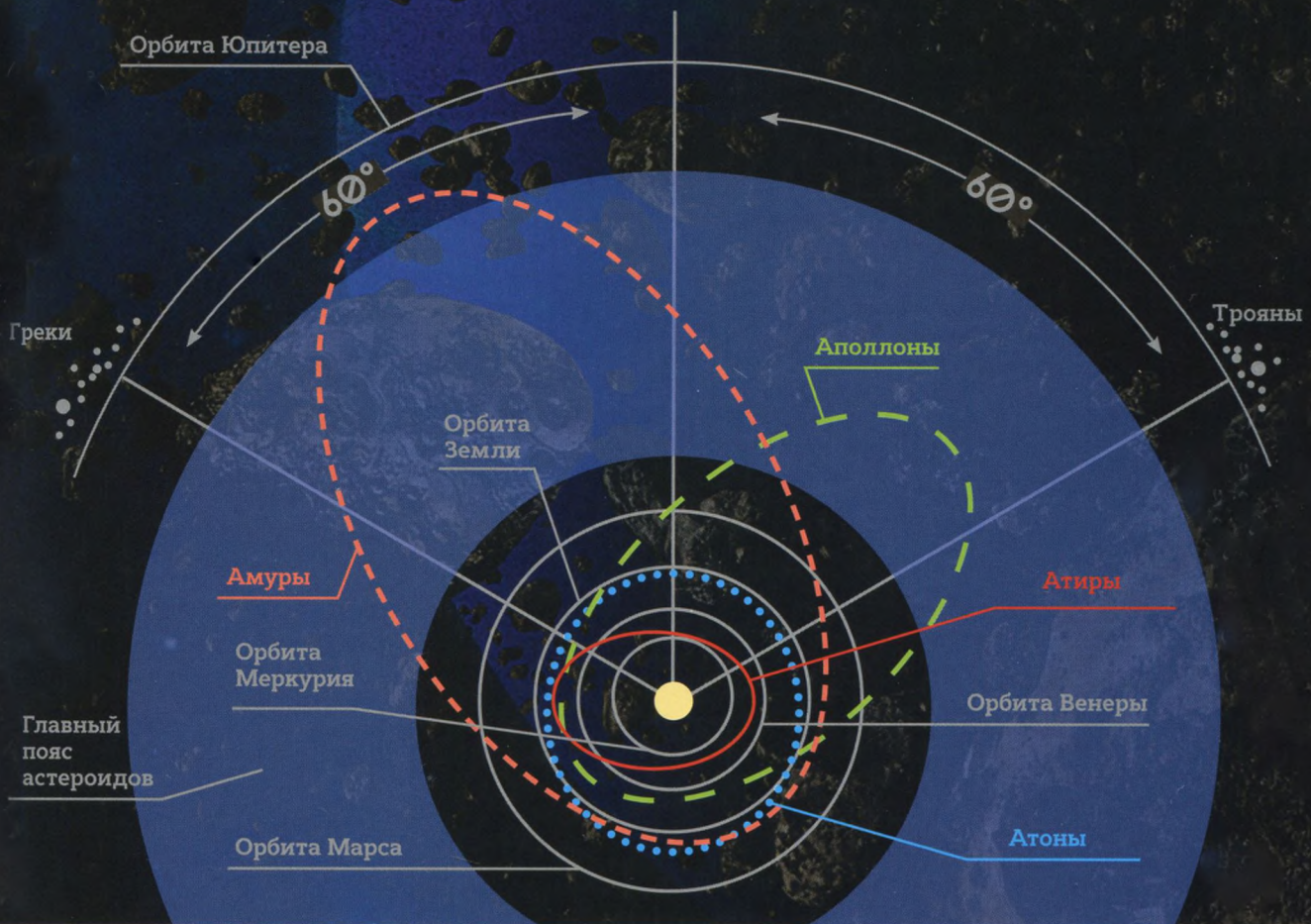
## Подтянуть ли «пояс»?

// КАКИЕ ГРУППЫ АСТЕРОИДОВ БУДУТ ОСВАИВАТЬ В ПЕРВУЮ ОЧЕРЕДЬ

По информации Центра малых планет (Minor Planet Center) — подразделения Международного астрономического союза, на сегодня в Солнечной системе идентифицированы 745 000 астероидов. Примерно столько же, если не больше, могут пока оставаться незамеченными из-за малых размеров и низкого альбедо (коэффициента отражения солнечного света): слишком тёмные тела неразличимы в космосе. Значительная часть обнаруженных астероидов находится в **главном поясе** между орбитами Марса и Юпитера. Однако пионеры космического горного дела вряд

ли полетят в такую даль: это дорого, а потому нецелесообразно. Предполагается, что первыми кандидатами на освоение станут максимально близкие к Земле астероиды, коих, по подсчётам Центра изучения околоземных объектов (CNEOS) NASA, на начало декабря минувшего года было 17 272. Они делятся на четыре группы: **Аполлоны, Атоны, Атиры и Амуры** — в зависимости от орбит, по которым движутся.

На рисунке видны и другие скопления астероидов, ещё дальше главного пояса, чуть за орбитой Юпитера: **Трояны** и **Греки**.



## Заглянуть внутрь небесного тела

// АСТЕРОИДЫ ПРОСТЫЕ И ЗОЛОТЫЕ

Химический состав астероидов определяют методом спектрального анализа (подход, основанный на том, что молекулы разных веществ поглощают и излучают свет разного спектра). В последнее

время спектральные данные об астероидах, полученные с помощью земных и космических телескопов, дополняют результатами других исследований — отсюда и множество классов малых небесных тел. Однако все эти классы принято делить на три основные группы:

Группа	Основа состава	Доля среди открытых астероидов	Примеры астероидов
S-группа (углеродистые)	Глинистые породы, гидратированные (содержащие воду) минералы	75 %	Бамберга
S-группа (силикатные)	Твёрдые породы, силикаты и алюмосиликаты	17 %	Эрос
X-группа (металлические)	Металлы	8 %	Психея

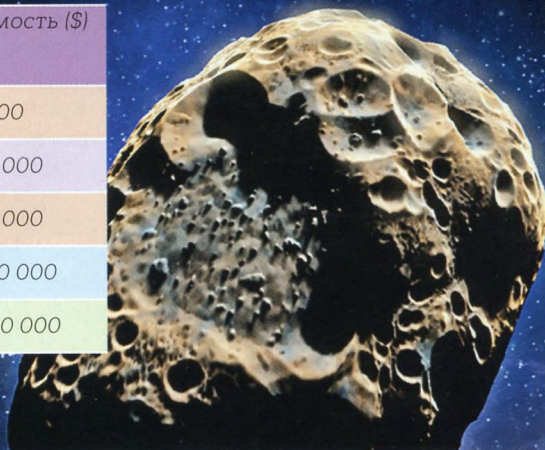


## Цена небесного металла

// ПО ДАННЫМ КОМПАНИИ PLANETARY RESOURCES

Астероид из группы	Масса астероида (тонн)	Ресурс (редкие металлы)	Масса ресурса (кг)	Стоимость (\$)
S	100	Pt, Ir, Au	8	250 000
	1000	Pt, Ir, Au	80	2 500 000
X	100	Pt, Ir, Au	80	2 500 000
	1000	Pt, Ir, Au	800	25 000 000
	1000	Rh	800	40 000 000

Оценивались небесные тела только групп S и X, так как лишь в них может содержаться привлекательное количество дорогих металлов.



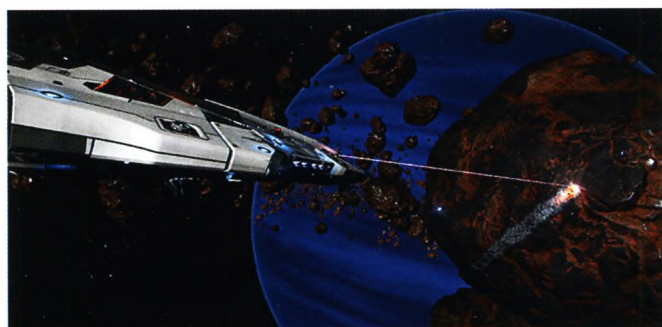
## Первые добытчики

// ЧАСТНЫЕ КОМПАНИИ, ПЛАНИРУЮЩИЕ МИССИИ ПО ПРОМЫШЛЕННОМУ ОСВОЕНИЮ АСТЕРОИДОВ

**PLANETARY RESOURCES** — американская компания, пообещавшая к 2020 году провести полномасштабную разведку месторождений на околоземных астероидах. В 2016 году Люксембург инвестировал в проект 25 млн евро. В космосе уже летает маленький кубсат (от англ. cube satellite — кубический искусственный спутник) Arkyd-3, произведённый Planetary Resources. Позже компания планирует запустить ещё около десятка таких спутников и космический телескоп Arkyd-100 для наблюдения за астероидами и дистанционного зондирования Земли — съёмки с мощнейшим разрешением и в разных диапазонах оптического спектра.

**DEEP SPACE INDUSTRIES** — ещё одна американская фирма. В 2023 году она уже собирается добывать металлы в космосе, для чего создаёт FireFly — кластер из трёх кубсатов, специализирующихся на контактной разведке астероидов; DragonFly — космический аппарат для забора образцов руды; Harvestor — аппарат для доставки тонн сырья на высокую околоземную орбиту.

**KEPLER ENERGY AND SPACE ENGINEERING** — снова компания из Соединённых Штатов. Её планы амбициозны, но не конкретны — точные даты своих миссий фирма не называет. Однако заявляет, что в рамках проекта Automated Mining System создаст полностью автоматизированную систему добычи полезных ископаемых на астероидах и с первого же раза привезёт на низкую околоземную орбиту не меньше 40 тонн ценной руды.



## Что и зачем хотят добывать?

// САМЫЕ ПРИВЛЕКАТЕЛЬНЫЕ МЕТАЛЛЫ (КРОМЕ ПЛАТИНЫ, ЗОЛОТА, СЕРЕБРА) И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ

Металл	Использование	Металл	Использование
<b>28 Ni</b> Nickel 58.693	 Химические аккумуляторы, легирование сталей	<b>59 Pr</b> Praseodymium 140.908	 Лазеры, электроразрядная техника
<b>31 Ga</b> Gallium 69.723	 Светодиоды, солнечные батареи, лазеры	<b>60 Nd</b> Neodymium 144.24	 Оптика для космической техники, оптоволоконные светодиоды
<b>32 Ge</b> Germanium 72.61	 Инфракрасная оптика, полупроводники	<b>62 Sm</b> Samarium 150.36	 Материал для космических атомных реакторов
<b>45 Rh</b> Rhodium 102.906	 Рентгеновские генераторы	<b>72 Hf</b> Hafnium 178.49	 Микропроцессоры
<b>49 In</b> Indium 114.818	 Жидкокристаллические дисплеи	<b>74 W</b> Tungsten 183.85	 Твердофазные ядерные реактивные двигатели
<b>58 Ce</b> Cerium 140.115	 Мощные твердотельные аккумуляторные батареи	<b>77 Ir</b> Iridium 192.22	 Материал для термоэлектрических генераторов, топливных баков в космических аппаратах



## Фантазии или прибыль

// ПРИ КАКИХ УСЛОВИЯХ ПРОМЫШЛЕННОЕ ОСВОЕНИЕ АСТЕРОИДОВ МОЖЕТ БЫТЬ ВЫГОДНЫМ

В 2013 году сотрудники Университета Стратклайда (Шотландия) попробовали рассчитать условия, при которых добыча ресурсов на околоземных астероидах могла бы приносить прибыль. Результаты своих изысканий они опубликовали в научном журнале *Celestial Mechanics and Dynamical Astronomy*.

Если сопоставить их модели с примерной стоимостью металлов, которую называют специалисты из *Planetary Resources*, освоение даже самого ценного астероида (из X-группы) массой 1000 тонн, содержащего 800 килограмм драгоценного родия (Rh), оказывается бесполезным. Вырученные деньги лишь покроют расходы на запуск ракеты-носителя, предназначенной для вывоза с астероида добытых ископаемых (перемещать бульжник к Земле ещё дороже). По нынешним расценкам стоимость и обслуживание одного пуска ракеты с приемлемой грузоподъемностью превышает 40 млн долларов. К тому же для преодоления силы притяжения Земли огромное количество топлива придется тратить на взлёт, а при посадке фактически сжигать в атмосфере дорогостоящее оборудование.

Прибыльными такие миссии могут стать, если ресурсам найдётся применение в самом космосе. Допустим, когда на Луне (или всё-таки на Марсе) будет построена

огромная научно-производственная база, выпускающая исследовательские космические аппараты, телескопы, спутники для навигационных и телекоммуникационных систем. Продажа или сдача в аренду таких аппаратов сделает космический горнодобывающий бизнес как минимум самоокупаемым. Основные энергетические, а значит, и денежные затраты связаны с отправкой ракеты в космос. Даже если астероид придётся перемещать к Луне, это обойдётся дешевле, нежели доставлять его или извлечённые из него ресурсы на Землю. Вот только уходить на одну такую миссию будет не меньше **15 лет**. Впрочем, и до постройки полноценной космической базы ещё очень и очень далеко.

Возможно, поначалу на ней будут присутствовать люди. Тогда это должно быть жилище с замкнутым циклом жизнеобеспечения. В нашей стране тестировался прототип такой базы: в 1970-е годы красноярский Институт физики им. Л. В. Киренского АН СССР построил жилой модуль «БИОС-3» с замкнутым циклом воздухо- и водоснабжения; 80 % пищи давали культуры, выращиваемые на базе. Испытатели прожили там 180 дней — эксперимент закончился по плану и без происшествий.

Но в отдалённом будущем — XXII веке — работать на астероидах, Луне и, наверное, на Марсе будут роботы, управляемые искусственным интеллектом. Дружественным, разумеется. А почему бы и нет? Фантазировать полезно. 🐾

