



ISSN 2411-6602 (Online)

ISSN 1607-2855 (Print)

Том 12 • № 2 • 2016 С. 86 – 95

УДК 523.2+523.4+523.6+523.52

Бывшая 9-я и возможная будущая 9-я планета Солнечной системы

А.П. Видьмаченко

Главная астрономическая обсерватория НАН Украины

В Солнечной системе были сформированы 4 планеты земного типа и 4 планеты-гиганта. Между ними расположен Главный пояс астероидов, а за планетами-гигантами — пояс Койпера и облако Оорта. Поэтому планетная система окружена роем каменно-ледяных тел до расстояния 10^5 а.е. Бывшая 9-я планета Солнечной системы, Плутон, является первым известным объектом пояса Койпера. Благодаря данным с космического аппарата «Новые горизонты» удалось существенно продвинуться в исследовании физических характеристик объекта и его поверхности. Многочисленные наблюдения показали, что сам пояс Койпера динамически стабильный, а источником кометных ядер является рассеянный свыше 4 миллиардов лет тому назад гравитационным возмущением планет-гигантов диск. Недавно было сообщено о непрямах доказательствах существования новой 9-й планеты в Солнечной системе с массой в 10 раз больше массы Земли, расстоянием от Солнца в перигелии ~ 200 а.е., в афелии — 600–1200 а.е. и периодом обращения $\sim 15\,000$ лет. Эти выводы основаны на расчете орбит 6 известных на сегодня объектов рассеянного диска. Мы обращаем внимание, что в моменты, близкие к их открытию, они располагались возле перигелия, имели максимальный блеск и максимальную скорость движения по орбите. Исходя из вероятностных предположений, мы оценили, что вероятное количество таких же тел с вытянутыми орбитами должно исчисляться не единицами, а многими тысячами. Для первичной оценки мы использовали данные наблюдений с инфракрасного космического телескопа «WISE». Они показали, что на расстояниях до 30 000 а.е. не зарегистрировано аналога Сатурна. Поэтому на расстоянии до 1000 а.е. была бы видна супер-Земля с радиусом $> 11\,000$ км (с массой ~ 10 масс Земли). Таким образом, либо неизвестная 9-я планета сейчас находится на большем расстоянии, либо эти результаты нельзя прямо масштабировать на супер-Землю с непропорционально меньшими запасами внутреннего тепла.

КОЛИШНЯ 9-ТА І МОЖЛИВА МАЙБУТНЯ 9-ТА ПЛАНЕТА СОНЯЧНОЇ СИСТЕМИ, Видьмаченко А.П. — У Сонячній системі були сформовані 4 планети земного типу і 4 планети-гіганти. Між ними розташований Головний пояс астероїдів, а за планетами-гігантами — пояс Койпера і хмара Оорта. Тому планетна система оточена роєм кам'яно-крижаних тіл до відстані 10^5 а.о. Колишня 9-та планета Сонячної системи, Плутон, є першим відомим об'єктом пояса Койпера. Завдяки даним з космічного апарату «Нові горизонти» вдалося істотно поліпшити дані щодо фізичних характеристик об'єкта і його поверхні. Численні спостереження показали, що сам пояс Койпера динамічно стабільний, а джерелом кометних ядер є розсіяний понад 4 мільярди років тому гравітаційним збуренням планет-гігантів диск. Нещодавно було повідомлено про непрямі докази існування нової 9-ї планети в Сонячній системі з масою в 10 разів більшою за масу Землі, відстанню від Сонця в перигелії ~ 200 а.о., в афелії — 600–1200 а.о. і періодом обертання $\sim 15\,000$ років. Ці висновки засновані на розрахунку орбіт 6 відомих на сьогодні об'єктів розсіяного диска. Ми звертаємо увагу, що в моменти, близькі до їх відкриття, вони розташовувалися біля перигелію, мали максимальний блеск і максимальну швидкість руху по орбіті. Виходячи з імовірнісних припущень, ми оцінили, що ймовірна кількість таких же тіл з витягнутими орбітами має обчислюватися не одиницями, а багатьма тисячами. Для первинної оцінки ми використали дані спостережень з інфрачервоного космічного телескопа «WISE». Вони показали, що на відстанях до 30 000 а.о. — відсутній аналог Сатурна. Тому на відстані до 1000 а.о. була б видна супер-Земля з радіусом $> 11\,000$ км (з масою ~ 10 мас Землі). Таким чином, або невідома 9-та планета зараз знаходиться на більшій відстані, або ці результати не можна прямо масштабувати на супер-Землю з непропорційно меншими запасами внутрішнього тепла.

FORMER 9TH AND POSSIBLE FUTURE 9TH PLANET IN THE SOLAR SYSTEM, by Vidmachenko A.P. — 4 terrestrial planets and 4 giant planets were formed in the Solar system. The Main asteroid belt is located between them, and the Kuiper belt and Oort cloud are located beyond the giant planets. Therefore, the planetary system is surrounded by a swarm of rocky-icy bodies up to a distance of 10^5 AU. The former 9th planet in the Solar system, Pluto, is the first known object of the Kuiper Belt. Due to data from the spacecraft "New Horizons" we made significant progress in the study of the physical characteristics of the object and its surface. Numerous observations have shown that the Kuiper belt itself is dynamically stable. And the source of cometary nuclei is a disk scattered by the gravitational perturbation of the giant planets more than 4 billion years ago. Recently, it was reported on indirect evidence of the existence of a new 9th planet in the Solar system with a mass 10 times greater than the mass of the Earth, a distance from the Sun ~ 200 AU at perihelion, 600–1200 AU at aphelion, and an orbital period of $\sim 15\,000$ years. These conclusions are based on the calculation of the orbits of 6 presently known objects of the scattered disc. We pay attention that, in moments close to their discovery, they were located near the perihelion, had a maximum brightness and a maximum orbital velocity. On the basis of probabilistic assumptions, we estimated that the probable number of the same bodies with eccentric orbits should be estimated at many thousands rather than at a few. For the initial evaluation, we used observational data from the Infrared Space Telescope «WISE». They showed that any Saturn's analog has not been registered at distances up to 30 000 AU. Therefore, a super-Earth with a radius of $> 11\,000$ km (with a mass of ~ 10 Earth masses) would have been seen at a distance up to 1000 AU. Thus, either unknown 9th planet is now at a greater distance, or these results cannot be directly scaled to the super-Earth with a disproportionately lower internal

Видьмаченко Анатолій Петрович; ✉ vida@mao.kiev.ua

heat reserves.

Ключевые слова: Солнечная система; Плутон; транснептуновые объекты.

Key words: Solar system; Pluto; transneptunian objects.

1. ВВЕДЕНИЕ

При моделировании отдельных стадий эволюции и образования планетных тел большое внимание обычно уделяется начальной стадии: опусканию пылинок в центральной плоскости диска и их слипанию в условиях допланетного облака. Дальнейший распад диска, образование пылевых сгущений и их преобразование в рой компактных тел астероидных размеров с космогонической точки зрения был достаточно быстрым (около миллиона лет) [66]. А аккумуляция планет из роя «промежуточных» тел и их обломков занимает гораздо больше времени. Так, время аккумуляции Земли составило $\sim 10^8$ лет. А образование Юпитера и Сатурна происходило в два этапа. На первом, который длился примерно $3 \cdot 10^7$ лет в области Юпитера и $2 \cdot 10^8$ лет в области Сатурна, происходила аккумуляция твердых тел. Когда крупнейшие тела достигали критического значения массы (около 3 масс Земли), начиналась аккреция газа на эти уже достаточно массивные тела, которая длилась не менее миллиона лет. При образовании Урана и Нептуна, до достижения ими критической массы (за время $\sim 10^8$ лет), большая часть газа уже аккумулировалась в первых двух планетах-гигантах (ПГ), либо покинула пределы Солнечной системы [66, 67]. В результате таких процессов к концу первой половины миллиарда лет были сформированы 4 планеты земного типа [41, 42] и 4 ПГ [9, 15, 17, 24–26, 60–62]. В переходной области между ними расположен Главный пояс астероидов (ГПА) [59, 72], а за областью ПГ — еще одна система малых тел: пояс Койпера (ПК) [63]. То есть астероиды и кометы представляют собой остатки роя «промежуточных» тел. Причем астероиды — это преимущественно каменные тела внутренней части околосолнечной зоны [35, 55, 66, 67, 72], а кометные ядра расположены дальше зоны планет-гигантов, которые иногда проникают и в зону планет земного типа [2–8]. В зависимости от расстояния до Солнца, на разных телах Солнечной системы существует свойственный только им набор химических соединений, которые в условиях конкретного объекта могут очень активно изменяться за время их обращения вокруг Солнца [13, 16, 18–23, 27–29, 32, 36–39, 43–52, 56, 57, 70, 71] или своего центрального тела [10–12]. А планетная система оказалась окруженной роем каменно-ледяных тел, который по некоторым оценкам простирается до расстояния 10^5 а.е. Недра первичных больших астероидов подвергались, очевидно, разогреву примерно до 1000 К, что отразилось на составе и структуре их вещества [66]. Некоторые метеориты представляют собой лучшие из доступных нам образцов этого первичного планетного вещества [68, 69]. По сравнению с земными горными породами они несравненно меньше изменены последующим физико-химическими процессами. Возраст метеоритов, определенный по содержанию радиоактивных элементов и продуктов их распада, характеризует также и возраст всей Солнечной системы (около 4,6 млрд. лет). Следовательно, продолжительность процесса формирования планет незначительна по сравнению со временем их существования. Пояс Койпера — область Солнечной системы от орбиты Нептуна (30 а.е. от Солнца) до расстояния около 50 а.е. [31, 63, 72]. Он примерно в 20 раз шире и в 20–200 раз массивнее Главного пояса астероидов [66]. В отличие от объектов пояса астероидов, которые в основном состоят из горных пород и металлов, объекты пояса Койпера (ОПК) состоят главным образом из летучих веществ — льдов метана, аммиака и воды. С тех пор, как в 1992 г. пояс был открыт, число известных объектов превысило тысячу, и предполагается, что ещё более 100 000 объектов с диаметром более 100 км пока не обнаружены.

2. ОСОБЕННОСТИ РЕЛЬЕФА ПОВЕРХНОСТИ И ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ПЛУТОНА

Бывшая 9-я планета Солнечной системы Плутон является первым известным объектом пояса Койпера. И хотя после его открытия в 1930 г. уже прошло много лет, но только в 2015 г. удалось существенно продвинуться в исследовании физических характеристик этого ОПК. Данные с космического аппарата (КА) «Новые горизонты» [14] уточнили диаметр Плутона — 2374 км, при средней плотности $2,03 \text{ г/см}^3$, периоде вращения 6,39 дней и эксцентриситете орбиты $e = 0,249$. Внутренняя структура Плутона, подобно многим телам Солнечной системы, должна быть дифференцирована, имея плотное ядро из скалистого материала, окруженное мантией из льда, замёрзшего метана, азота, аммиака и чадного газа. Предположительно диаметр ядра составляет ~ 1700 км, тогда как толщина слоя льда на границе ядра и мантии находится в пределах 100–180 км. Из-за большого эксцентриситета орбиты температура поверхности Плутона в экваториальной области за ~ 248 земных лет варьирует от 33 К до 55 К [14, 33, 58, 63, 66]. При приближении Плутона к Солнцу льды тают, и там образуется атмосфера, преимущественно из молекулярного азота и метана. При удалении от Солнца — атмосфера вновь вымерзает, выпадая осадками на поверхность. Несмотря на разреженность, атмосфера Плутона способна поддерживать существование дымки, которая простирается на высоту до 150 км. Продукты фотодиссоциации метана в атмосфере могут превращаться в более сложные органические вещества — толины — и выпадать на поверхность

Плутона, придавая ей красноватый оттенок [63, 66]. Источником метана может быть испарение льда или даже выброс газа из-под поверхности. Некоторые косвенные признаки подобных выбросов видны на некоторых снимках. Новые фотографии с КА показали, что рельеф Плутона имеет разнообразие форм: горные гряды, равнины, необычные «чешуйки», существование которых было трудно объяснить, если считать, что этот планетоид состоит только из метанового, азотного и аммиачного льда, как считалось ранее [34]. Не ожидали увидеть на столь небольшой, холодной, и, как казалось раньше, мертвой планете, как Плутон, полноценные горы высотой до четырех километров. Считается, что горы состоят из водяного льда, так как азот, метан и другие материалы, возможно доступные на его поверхности, не достаточно твердые для удержания такого количества массы. Их резкие очертания несвойственны мягкому азотному льду, так что эти горы, скорее всего, состоят из водяного льда. В Области Томбо расположены два горных массива, которые предложено назвать в честь покорителей Эвереста горами Норгея и Хиллари. Массивы состоят из пирамидальных гор высотой до 3,5 км.

Обширная ровная область, известная как равнина Спутника (в честь первого искусственного небесного объекта), похоже, покрыта мягким азотным льдом. Всё указывает на то, что это исключительно эластичный лёд. Равнина Спутника граничит с тёмным, покрытым кратерами регионом Ктулху. Возможно, тёмный цвет поверхности придаёт прошедший химическую обработку в атмосфере метан. Он оседает на полюсах, куда его переносит ветер. Поверхность равнины Спутника разделена на многоугольники размером в 16–40 км, с незначительным возвышением в центре до 100 м. Эти клетки могут появляться из-за медленной тепловой конвекции азотных льдов, заполняющих равнину Спутник. Случайные поднятые, темные блоки по краям клеток являются своеобразными айсбергами из грязного водяного льда, которые плавают в плотном твердом азоте. Ячейки на равнине разделены «канавками», некоторые «канавки» заполнены темным веществом. Вещество равнины Спутника напозаает на существенно более темный регион, покрытый многочисленными кратерами разного размера. Поэтому поверхность равнины Спутника ближе к «берегу» является более темной (рис. 1). Необычность полученных снимков состоит еще и в том, чего на них нет ударных кратеров, по крайней мере, крупных — размером более сотен метров. Отсутствие следов падений метеоритов на столь значительной площади указывает на ее молодость и свидетельствует о геологической активности на Плутоне.

Очень интересными и неожиданными явились данные о горных массивах на Плутоне. У многих из них есть кратеры. Но среди них особенно выделяются две возвышенности высотой в 4–5 км и ~160 км в диаметре, найденные возле южного полюса. Это два самые заметные горные пики на планете: вершины Пикарда и Райта, с характерными для земных вулканов кратерами на вершине (рис. 2). Они могли извергать смесь из газов азота, метана, воды и аммиака, то есть могут быть криовулканами. Они заставляют предположить, что недра небесного тела в недалеком прошлом могли быть активными. А впадины на вершинах, скорее всего, сформировались в результате обрушения после извержения. Странная бугристая

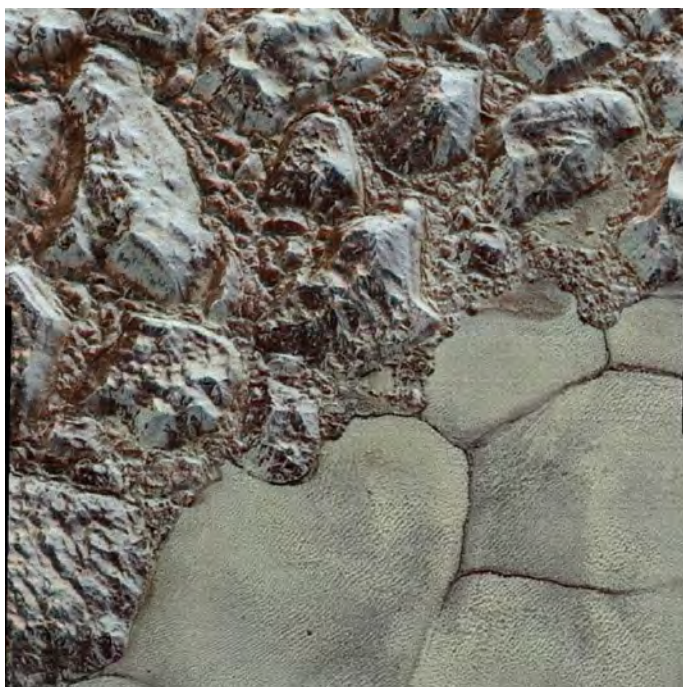


Рис. 1. Область Плутона шириной в 80 км к северо-западу от равнины Спутник, к горам аль-Идриси (NASA / JHUAPL / SwRI)



Рис. 2. Возможный криовулкан Райт Монс (NASA / JHUAPL / SwRI)

текстура на склонах может свидетельствовать о возможных вулканических потоках, вытекающих из вершины на находящиеся у подножия гор равнины. Поскольку окружающая температура довольно низкая, давление очень малое, то быстрое остывание продуктов истечения привело к наблюдаемой текстуре. На склонах вулкана Райт Монс обнаружен только один кратер. Это может свидетельствовать о том, что он был вулканически активным в поздней истории развития Плутона. Исследованиями изображений планеты установлено, что в процессе формирования поверхность Плутона прошла по крайней мере через три фазы. Причём некоторые образования являются относительно новыми, сформированными в последние 10 миллионов лет. Например, равнина Спутник сформировалась очень недавно: около 100 тысяч лет назад. Обрамляющие равнину Спутник горы Норгая показали наличие местности некоего среднего возраста. А возраст некоторых частей поверхности составляет около 4 млрд лет. Таким образом, поверхность карликовой планеты имеет как крайне древние породы, так и относительно молодые. Это свидетельствует о том, что Плутон был геологически активен на протяжении всей своей истории [14]. Поэтому можно считать, что Плутон пережил долгую историю геологической активности. А наличие вулканов обеспечивает важную подсказку для понимания геологической и атмосферной эволюции карликовой планеты.

На переданных КА снимках поверхности Плутона обнаружено более тысячи кратеров. Они значительно различаются по размеру и внешнему виду. Но обращает на себя внимание то, что и на Плуtone и его спутнике Хароне практически отсутствуют кратеры малого размера. Это заставляет сомневаться в гипотезе, согласно которой все крупные ОПК образовались путём слияния мелких объектов. Также на Плуtone обнаружено несколько крупных трещин с глубиной до четырех километров. Самая длинная из них тянется на 322 км. Их наличие может объясняться распадом в ядре природных радиоактивных элементов или другими глобальными изменениями, произошедшими когда-то на поверхности Плутона. То есть фотографии демонстрируют свидетельство его геологической активности. А молодая поверхность планеты означает, что Плутон имеет какие-то механизмы для обновления, требующие внутреннего источника тепла. Предполагается, что Плутон может иметь жидкий океан, который постепенно отдаёт тепло и замерзает. Возможно, распадаясь, радиоактивные материалы выделяют тепло и формируют ледяные вулканы. То есть геологическая активность Плутона может быть обусловлена остатками радиоактивных элементов, сохранившихся со времени формирования карликовой планеты, и летучими соединениями, циркулирующими между поверхностью и атмосферой [14].

Плутон — первая ледяная планета, не вращающаяся вокруг планеты-гиганта, поэтому не подвергается приливным силам, которые могли бы влиять на геологические процессы [64, 65]. Это говорит о том, что в ледяных планетах может происходить геологическая активность и без энергии приливных сил. Новые поступившие на Землю данные показали наличие на Плуtone значительного количества воды. Оказалась, что водяным льдом покрыта примерно половина поверхности карликовой планеты, а сам лёд расположен не в глубине, а на поверхности. Ведь поверхность Плутона покрыта многочисленными формами рельефа, существование которых трудно объяснить без предположения о наличии воды. В её отсутствие рельеф был бы куда более гладким: лёд из метана, азота, аммиака и монооксида углерода быстро расплзся бы по низинам и ущельям. Поэтому вначале предполагалось, что льдом из низкотемпературных веществ покрыта лишь поверхность планетоида, а под ним скрывается кора из водяного льда, который и удерживает обнаруженные структуры. Но данные спектрографии опровергли эту гипотезу. Оказалось, что водяной лёд располагается прямо на поверхности Плутона и занимает порядка половины её площади, обращённой к пролетевшему мимо КА «Новые горизонты». Причём это консервативная оценка, поскольку спектрометр не заметит воду там, где присутствуют испарения метана. Согласно полученным снимкам, воды меньше на равнине Спутник и в Области Лоуэлла. Это говорит о том, что в этих равнинных регионах слой водяного льда скрыт подо льдами аммиака, метана и других веществ и позволяет предположить относительно недавнее их формирование в результате неизвестных пока процессов в недрах Плутона. Возможно, под видимой поверхностью до сих пор идут геологические процессы.

Поскольку водяной лёд менее плотный, чем азотный доминирующий лёд, то возможно считать, что эти холмы из водяного льда как будто плывут в море замороженного азота и двигаются в течение долгого времени, как айсберги в океанах Земли. Формируются своеобразные «цепочки» из дрейфующих холмов вдоль путей потока ледников. Когда холмы входят в сотовый рельеф центральной части равнины Спутник, они становятся предметом конвективных движений азотного льда и выталкиваются к краям клеток, где кластеры холмов в группах иногда достигают до 20 км. В северной части изображения на рис. 3 находится структура Challenger Colles, названная в честь погибшей экспедиции одноименного шаттла. По-видимому, это особенно большое скопление этих холмов размером 60 × 35 км. Эта структура находится вблизи границы с возвышенностями, вдали от местности с сотами; возможно, эта структура представляет собой то место, где холмы были «на берегу» из особо мелкого азотного льда. Новый чувствительный спектрограф на космическом телескопе им. Хаббла обнаружил сильное поглощение поверхностью Плутона в ультрафиолетовой части спектра. Это может быть доказательством возможного наличия комплексных углеводородов и/или нитрил молекул на поверхности. Такие виды химических

соединений могут быть получены в результате взаимодействия солнечного света и космических лучей со льдом на поверхности Плутона, содержащей кроме замерзшей воды, примеси метана, окиси углерода и азота.

Розоватый оттенок поверхности Плутона служит указанием на то, что в химических реакциях на его поверхности может синтезироваться органика. Это может говорить о наличии типичного для многих объектов на периферии Солнечной системы, как в поясе Койпера, так и вне его, так называемого толина — сложной смеси различных органических веществ. Темное вещество на Плуtone встречается не только в виде прожилков и пятен, но и в виде обширных черных областей, которые видны на снимках с максимальным разрешением. На них видно, что черные области густо усыпаны кратерами. То есть они существенно старше, чем светлые области, подобные области Томбо (рис. 4). На поверхности Плутона светлые и темные области соседствуют друг с другом. Темная область на снимке густо усыпана кратерами, что говорит о ее солидном возрасте. Окружавшие эти горы «дюны» из углеводородов тоже удивили ученых и указали на то, что атмосфера Плутона когда-то была более густой и что по его поверхности гуляли ветра, переносившие эти материалы с места на место.

3. ВОЗМОЖНАЯ БУДУЩАЯ 9-Я ПЛАНЕТА СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ

Многочисленные наблюдения, проводимые с середины 1990-х годов, показали, что сам пояс Койпера динамически стабильный, а настоящим источником кометных ядер является рассеянный диск, представляющий собой динамически активную область, созданную направленными вовне гравитационным возмущением внешних ПГ (и в первую очередь Нептуна) свыше 4 миллиардов лет тому назад. Объекты рассеянного диска (ОРД) похожи на объекты пояса Койпера, но уходят по своим орбитам на расстояния в несколько сотен астрономических единиц [53, 66]. В январе 2016 г. М. Браун и К. Батыгин сообщили [1] о непрямых доказательствах существования неизвестной пока новой девятой планеты в Солнечной системе. Они говорят о косвенных доказательствах, указывающих на ее возможную массу в ≈ 10 раз больше массы Земли. Ее расстояние от Солнца в перигелии может составлять ~ 200 а.е., в афелии — 600–1200 а.е., а период обращения — около 15 000 лет. Авторы предполагают, что в ранней Солнечной системе эта планета была «выброшена» из области формирования планет вблизи Солнца. А затем она замедлилась из-за трения в газе и «обосновалась» на отдаленной эллиптической орбите. Но все эти выводы о планете основаны на компьютерном просчете орбит всего лишь нескольких известных на сегодня транснептуновых объектов (ТНО), среди которых Седна, 2012VP113, 2010GB174 и другие (табл. 1) [30, 33, 34, 58]. М. Браун и К. Батыгин предлагают, что ориентации орбит этих объектов расположены так, что на них должно влиять существование крупного неизвестного тела. Оно вполне может оказаться новой планетой, оказывающей на них мощное гравитационное воздействие.

Мы хотим обратить внимание на рис. 5. На нем показаны орбиты этих ТНО, самого пояса Койпера и возможной неизвестной планеты. И особо указываем на расположение этих ОРД на орбите в моменты

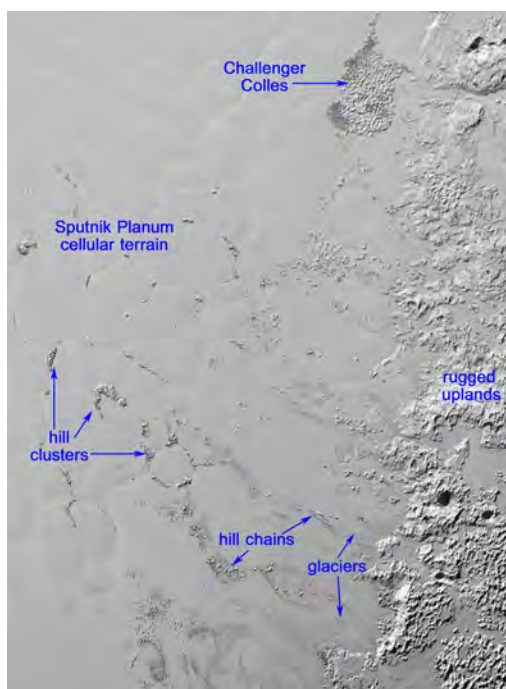


Рис. 3. Цепочки «айсбергов» на равнине Спутник (NASA / JHUAPL / SwRI)

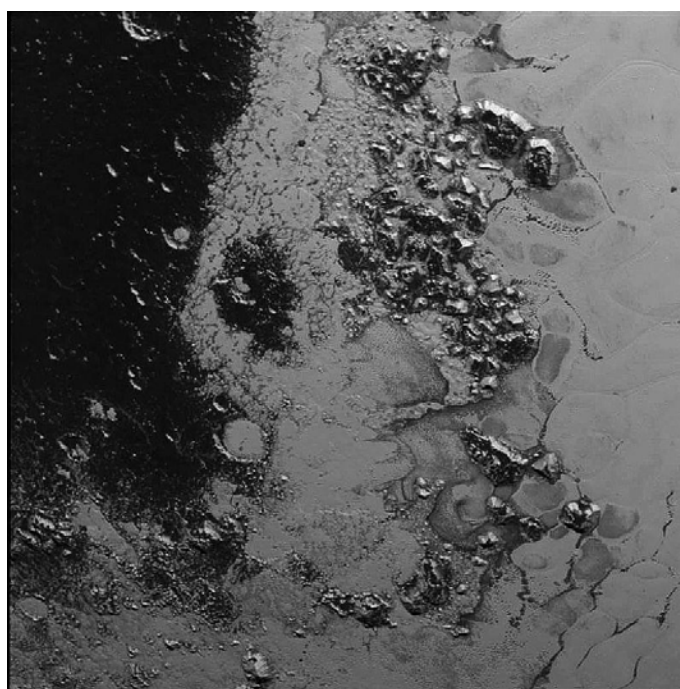


Рис. 4. Горная система на юго-западе от светлой области Томбо. Фото с расстояния 77 000 км. (NASA / JHUAPL / SWRI)

Таблица 1. Транснептуновые объекты с большими значениями афелия

| Объект | Перигелий, а.е. | Афелий, а.е. | Размер, км | Расстояние до Солнца в момент открытия, а.е. |
|------------|-----------------|--------------|------------|--|
| Седна | 76,315235 | 1006,54 | 995 ± 80 | 89,6 (2003) |
| 2010 GB174 | 48,7 | 654 | 130–300 | 70,8 (2016) |
| 2012 VP113 | 80,6 | 446 | 300–1000 | 83 (2014) |
| 2007 TG422 | 35,6 | 967 | 343 | 37 (2007) |
| 2004 VN112 | 47,3 | 607 | | 47,3 (2009) |
| 2013 RF98 | 36,28 | 600 | 50–110 | 36,5 (2016) |

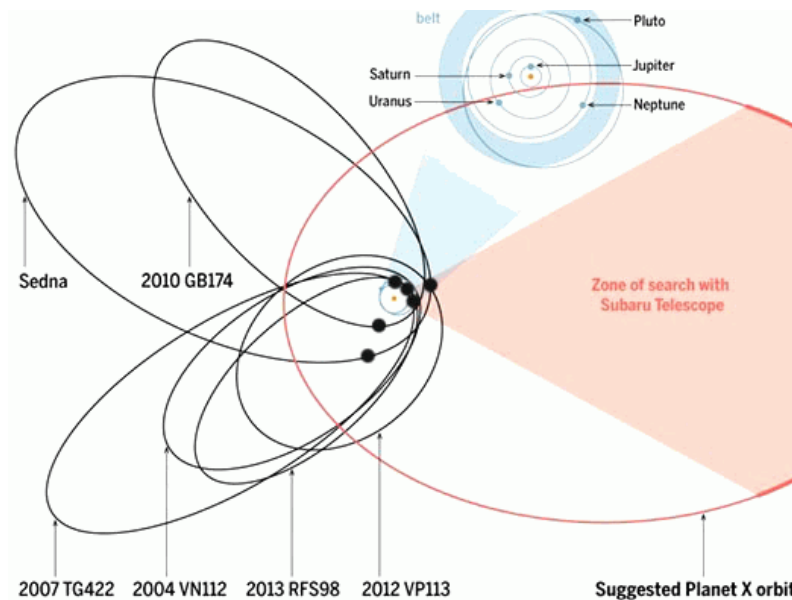


Рис. 5. Орбиты ТНО и предполагаемой планеты.

близкие к их открытию. При их обнаружении все они располагаются довольно близко к перигелию, когда их блеск для земного наблюдателя является максимальным, а скорость движения по орбите — самая большая [72]. Но всего лишь через 50–100 лет они пройдут это удобное место в космосе для их возможного открытия. А затем многие тысячи лет эти объекты будут двигаться по отдаленным участкам своих орбит [40, 54].

В связи с этим мы обоснованно должны предположить, что на несколько порядков большее количество ТНО должно находиться на таких же далеких орбитах, как и 6 принимаемых в расчет при вычислениях объектов. Но в данный конкретный момент все они невидимы для земного наблюдателя из-за их нахождения на далеких от перигелия расстояниях. Из-за значительного эксцентриситета скорость их движения по орбите вблизи афелия в несколько раз меньше современной скорости движения пребывающих возле перигелия недавно открытых ТНО. В связи с этим вероятное количество таких же довольно крупных ТНО с очень вытянутыми орбитами из чисто вероятностных предположений должно исчисляться не единицами, а многими тысячами. Поэтому действительная картина результатов расчета по всему ансамблю существующих отдаленных объектов должна разительно отличаться от представленных в работе [1].

Из-за удаленности от Солнца и большого разброса в параметрах орбиты неизвестной планеты для ее обнаружения малопродуктивно использовать телескопы с узким полем видимости. Основной проверкой расчетов в работе [1] должно стать обнаружение самой планеты. Расчеты указывают на ее возможное расположение с точностью до квадранта. Да и наклонение орбиты пока не удается определить. Тем более что большую часть времени неизвестная планета должна проводить вблизи афелия на расстоянии около 1000 а.е. от Солнца. Так что обзор такого обширного участка неба может продолжаться долго. Для первичной оценки мы использовали данные наблюдений с запущенного в 2009 г. для изучения неба в инфракрасном диапазоне космического телескопа «WISE» (Wide-Field Infrared Survey Explorer). Так, оказалось, что телескоп не смог увидеть аналога планеты-гиганта Сатурна на расстояниях до 30 000 а.е. Этот факт позволяет рассчитать, что на расстояниях до 1000 а.е. было бы видимым планетное тело с радиусом свыше 11 000 км, то есть именно предполагаемое тело с массой около 10 масс Земли. Таким образом, либо неизвестная 9-я планета именно сейчас находится на более далеком расстоянии, а возможно, что эти результаты нельзя напрямую масштабировать на планету супер-Землю с непропорционально меньшими запасами внутреннего тепла.

4. ВЫВОДЫ

Таким образом, аккумуляция планет из роя «промежуточных» тел и их обломков занимает несколько сотен миллионов лет. К концу первой половины миллиарда лет были сформированы 4 планеты земного типа и 4 планеты-гиганты. В переходной области между ними расположен Главный пояс астероидов, а за планетами-гигантами — пояс Койпера и облако Оорта. В результате планетная система до расстояния $\sim 10^5$ а.е. от Солнца оказалась окруженной роем каменно-ледяных тел. Число известных в ПК объектов превысило тысячу. Предполагается, что ещё более 100 000 тел с диаметром более 100 км пока не обнаружены. Бывшая 9-я планета Солнечной системы, Плутон, является первым известным объектом пояса Койпера. Благодаря данным с КА «Новые горизонты» удалось существенно продвинуться в исследовании физических характеристик этого объекта и его поверхности. Там обнаружены состоящие из водяного льда горы высотой до 4 км, пребывающие в медленной тепловой конвекции азотные льды, укрытые крупными кратерами горные массивы, кривовулканы, несколько крупных трещин с глубиной до 4 км, «плавающие», как айсберги, в море замороженного азота холмы из водяного льда, и т.п. Многочисленные наблюдения, проводимые с середины 1990-х годов, показали, что сам пояс Койпера динамически стабильный. А источником кометных ядер является рассеянный свыше 4 млрд. лет тому назад гравитационным возмущением планет-гигантов диск. Браун и Батыгин сообщили о непрямым доказательствах существования неизвестной пока новой 9-й планеты в Солнечной системе с возможной массой в 10 раз больше массы Земли. Ее расстояние от Солнца в перигелии может составлять ~ 200 а.е., в афелии — 600–1200 а.е. с периодом обращения около 15 000 лет. Авторы предполагают, что в ранней Солнечной системе эта планета была «выброшена» из области формирования планет вблизи Солнца. Но эти выводы о планете основаны на компьютерных расчетах орбит всего лишь 6 известных на сегодня объектов рассеянного диска. Браун и Батыгин предлагают, что ориентации орбит этих объектов расположены так, что на них должно влиять существование крупного неизвестного тела. Но мы обращаем внимание на расположение этих объектов на орбите в моменты, близкие к их открытию: все они находятся довольно близко к перигелию, когда их блеск для земного наблюдателя максимальный, а скорость движения по орбите — самая большая. Но всего лишь через 50–100 лет они пройдут это удобное для их возможного открытия место в космосе. А затем многие тысячи лет эти объекты будут двигаться по отдаленным участкам своих орбит. Поэтому мы считаем, что из чисто вероятностных предположений вероятное количество таких же довольно крупных тел с очень вытянутыми орбитами должно исчисляться не единицами, а многими тысячами. В связи с этим действительная картина результатов расчета по всему ансамблю существующих отдаленных объектов должна разительно отличаться от представленных в работе [1]. Эти расчеты указывают на возможное расположение такой планеты с точностью до квадранта. Так что обзор такого обширного участка неба может продолжаться долго. Для первичной оценки мы использовали данные наблюдений с запущенного в 2009 г. для изучения неба в инфракрасном диапазоне космического телескопа «WISE». Оказалось, что на расстояниях до 30 000 а.е. не зарегистрировано аналога планеты-гиганта Сатурна. Этот факт указывает на то, что на расстоянии до 1000 а.е. была бы видна супер-Земля с радиусом от 11 000 км (то есть именно около 10 масс Земли). Таким образом, либо неизвестная 9-я планета именно сейчас находится на более далеком расстоянии, либо возможно, что эти результаты нельзя прямо масштабировать на супер-Землю с непропорционально меньшими запасами внутреннего тепла.

1. *Batygin K., Brown M.* Evidence for a Distant Giant Planet in the Solar System // *Astron. J.* — 2016. — **151**, №2. — article id. 22, 12 p.
2. *Churyumov K.I., Steklov A.F., Vidmachenko A.P., Dashkiev G.N.* Observations of fragment of cometary nuclei in the atmosphere over Kiev // *Astronomical School's Report.* — 2015. — **11**, №2. — P.99–102.
3. *Churyumov K.I., Steklov A.F., Vidmachenko A.P., Dashkiev G.N.* Several twilight bolides over Kiev in 2013–2015 — fragments of comets nuclei // International conference Meteoroids 2016, at the European Space Research and Technology Centre (ESTEC). Noordwijk, the Netherlands. 6–10 June, 2016. Poster 63.
4. *Churyumov K.I., Steklov A.F., Vidmachenko A.P., Dashkiev G.N.* Observations of fragments of cometary nuclei in the atmosphere over Kiev in the summer of 2014 // 17 International scientific conference Astronomical School of Young Scientists. May 20–22, 2015. Zhytomyr, Ukraine. The program and abstracts. — P.84–85.
5. *Churyumov K.I., Steklov A.F., Vidmachenko A.P., Steklov E.A.* Some results of regular observations of the twilight bolides // In: Book of selected papers and abstracts. Edited by corresponding member of NAS of Ukraine prof. K.I. Churyumov. Vinnytsia. September 29 — October 2, 2014. — P.98–108.
6. *Churyumov K.I., Steklov O.F., Vidmachenko A.P., Steklov E.A.* Traces on sky: the classification and the results of regular observations of twilight fireballs // *Astronomical School's Report.* 2014. — **10**, №1. — P.37–42.
7. *Churyumov K.I., Vidmachenko A.P., Steklov A.F., Dashkiev G.N., Steklov E.A., Stepanho I.V.* Experience of monitoring of the twilight bolides in 2013–2016 and the program of future observations // 18th International scientific conference Astronomical School of Young Scientists, the program and abstracts. National Aviation University, Kyiv, Ukraine. May 26–27, 2016. — P.93–94.

8. *Churyumov K.I., Vidmachenko A.P., Steklov A.F., Steklov E.A.* Three bright bolides in Kiev sky on 29 March 2013 // 8th Conference Meteoroids 2013. 26–30 August 2013. Poznań, Poland. Program and abstracts. IAU C22, Session P12 Fireballs. 2013. Contribution №077.
9. *Dlugach J.M., Morozhenko A.V., Vid'machenko A.P., Yanovitski E.G.* Investigations of the optical properties of Saturn's atmosphere carried out at the Main Astronomical Observatory of the Ukrainian Academy of Sciences // *Icarus*. — 1983. — **54**. — P.319–336.
10. *Shavlovskiy V.I., Vidmachenko A.P.* Spectrophotometry and surface geology of the Galilean satellites of Jupiter Europe // In: Book “Near-Earth Astronomy 2015.” Abstracts of IX International conference Near-Earth Astronomy. August 31-September 5 2015. — Terskol, Nalchik: Publishing KBSC RAS. 2015. — P.25–26.
11. *Shavlovskiy V.I., Vidmachenko A.P.* Spectrophotometry and surface geology of the Galilean satellites of Jupiter Europe // In: Book “Near-Earth Astronomy 2015.” Abstracts of IX International conference Near-Earth Astronomy, Terskol, August 31 — September 5, 2015. — Nalchik: Publishing KBSC RAS, 2015. — P.25–26.
12. *Shavlovskiy V.I., Vidmachenko A.P.* Spectrophotometry and surface geology of the Galilean Jupiter's satellite Europe // «Near — Earth Astronomy — 2015». Proceedings of the International conference. 31 August — 5 September 2015 r. Terskol — M.: Yanus-K, 2015. — P.146–149.
13. *Steklov A.F., Vidmachenko A.P., Miniailo N.F.* Seasonal variations in the atmosphere of Saturn // *Soviet Astronomy Letters*. — 1983. — **9**, № 2. — P.135–136.
14. *Stern S.A., Bagenal F., Ennico K., et al.* The Pluto system: Initial results from its exploration by New Horizons // *Science*. — 2015. — **350**, № 6258, id.aad1815.
15. *Vid'machenko A.P.* Absolute electrophotometry of features of Saturn's disc // *Physics of planetary atmospheres*. — 1981. — P.113–132.
16. *Vid'machenko A.P.* On the activity of Jupiter's atmosphere // *Kinematika i Fizika Nebesnykh Tel.* — 1985. — **1**, № 5. — P.91.
17. *Vid'machenko A.P.* Seasonal variations in the optical characteristics of Saturn's atmosphere // *Kinematika i Fizika Nebesnykh Tel.* — 1999. — **15**, № 5. — P.430–446.
18. *Vid'machenko A.P.* Temporal changes in methane absorption in Jupiter's atmosphere // *Kinematics and Physics of Celestial Bodies*. — 1997. — **13**, № 6. — P.21–25.
19. *Vid'machenko A.P.* The albedo of the southern equatorial region of Saturn in 1977–1981 // *Astronomicheskii Vestnik*. — 1984. — **18**, № 3. — P.191–198.
20. *Vid'machenko A.P.* The appearance of seasonal variations in Saturn's atmosphere // *Kinematika i Fizika Nebesnykh Tel.* — 1987. — **3**. — P.10–12.
21. *Vid'machenko A.P.* Time variations of methane absorption in the Jupiter's atmosphere // *Kinematika i Fizika Nebesnykh Tel.* — 1997. — **10**, № 6. — P.26–32.
22. *Vid'machenko A.P.* Variations in Reflective Characteristics of Jupiter's Atmosphere // *Astronomicheskii Vestnik*. — 1999. — **33**, № 6. — P.527–535.
23. *Vid'machenko A.P.* Variations of the Reflective Characteristics of Jupiter's Atmosphere // 31st Annual Lunar and Planetary Science Conference. March 13–17 2000. Houston, Texas. Abstract № 1060.
24. *Vid'machenko A.P., Dlugach Zh.M., Morozhenko A.V.* Nature of the optical inhomogeneity of Saturn's disk // *Astronomicheskii Vestnik*. — 1983. — **17**, № 4. — P.216–224.
25. *Vid'machenko A.P., Morozhenko A.V., Klimenko V.M.* Phase effect for the brightness coefficient of the central disk of Saturn and features of Jupiter's disk // *Icarus*. — 1980. — **42**, № 3. — P.354–357.
26. *Vid'machenko A.P., Morozhenko O.V.* Space investigations and physics of the Solar system bodies // *Research Bulletin of National Technical University of Ukraine “Kyiv Polytechnic Institute”*. — 2006. — № 6. — P.71–81.
27. *Vid'machenko A.P.* Variations of the reflective characteristics of Jupiter's atmosphere // 31st Lunar and Planetary Science Conference. March 13–17 2000. Houston, Texas. Abstract № 1060.
28. *Vidmachenko A.P.* Activity of processes on the visible surface of planets of Solar system // 18th International scientific conference Astronomical School of Young Scientists. The program and abstracts. May 26–27 2016. National Aviation University, Kyiv, Ukraine. — P.23–27.
29. *Vidmachenko A.P.* Atmospheres of giant planets // *Astronomical School's report*. — 2008. — **4**, № 2. — P.92–103.
30. *Vidmachenko A.P.* Could it be the ninth planet in the Solar system? // International Conference “Astronomy and Space Physics in Kyiv University”. Book of abstracts. May 24–27 2016. Kyiv, Ukraine. — P.67–68.
31. *Vidmachenko A.P.* Dwarf planets (to the 10th anniversary of the introduction of the new class of planets) // *Astronomical almanac 2016*. — 2015. — **62**. — P.228–249.
32. *Vidmachenko A.P.* Electrophotometry of Saturn. II — Spectral brightness distribution along the central meridian // *Astrometriia i Astrofizika*. — 1984. — **51**. — P.56–62.
33. *Vidmachenko A.P.* Features of surface topography and the geological activity of Pluto // 18th International scientific conference Astronomical School of Young Scientists. The program and abstracts. May 26–27 2016. National Aviation University, Kyiv, Ukraine. — P.12–14.
34. *Vidmachenko A.P.* Features of surface topography and the geological activity of Pluto // 18th International scientific conference Astronomical School of Young Scientists, the program and abstracts. National Aviation University, Kyiv, Ukraine, May, 26–27, 2016. — P.12–14.

35. *Vidmachenko A.P.* Impact craters at falling of large asteroids in Ukraine // 18th International scientific conference Astronomical School of Young Scientists. The program and abstracts. May 26–27 2016. National Aviation University, Kyiv, Ukraine. — P.27–30.
36. *Vidmachenko A.P.* Influence of solar activity on Jupiter's atmosphere // 18th International scientific conference Astronomical School of Young Scientists. The program and abstracts. May 26–27 2016. National Aviation University, Kyiv, Ukraine. — P.17–19.
37. *Vidmachenko A.P.* Influence of solar activity on seasonal variations of methane absorption in the atmosphere of Saturn // Kinematics and Physics of Celestial Bodies. 2015. — **31**, №3. — P.131–140.
38. *Vidmachenko A.P.* Influence of Solar Activity on the Brightness Factor of Photometric Activity of Jupiter's Hemispheres // 47th Lunar and Planetary Science Conference. March 21–25 2016. Woodlands, Texas. LPI Contribution № 1903. — P.1092.
39. *Vidmachenko A.P.* Influence of solar activity on the seasonal variation of methane absorption at Saturn // 17 International scientific conference Astronomical School of Young Scientists. May 20–22 2015. Zhytomyr, Ukraine. The program and abstracts. — P.14–16.
40. *Vidmachenko A.P.* Is there 9th planet in our solar system? // Gamow International Conference. 14–20 August. 2016. Odessa, Ukraine.
41. *Vidmachenko A.P.* Mysterious Mercury spacecraft studying // Astronomical almanac 2008. — 2007. — **54**. — P.185–207.
42. *Vidmachenko A.P.* Observations of planets in UV // Ultraviolet Universe. Proceedings of the Conference “Scientific prospects of the space ultraviolet observatory SPECTRUM-UV”, held 16–17 November 2000. Publisher: Moscow: GEOS, 2001. Edited by B.M. Shustov, D.S. Wiebe. — P.209–220.
43. *Vidmachenko A.P.* On activity of Jupiter's atmosphere // 29th Annual Lunar and Planetary Science Conference. March 16–20 1998. Houston, TX. Abstract № 1092. — P.1–2.
44. *Vidmachenko A.P.* Periodic changes in the activity of Jupiter's hemispheres // 47th Lunar and Planetary Science Conference. March 21–25 2016. Woodlands, Texas. LPI Contribution № 1903. — P.1091.
45. *Vidmachenko A.P.* Periodic changes in the activity of the hemispheres of Jupiter // 18th International scientific conference Astronomical School of Young Scientists. The program and abstracts. May 26–27 2016. National Aviation University, Kyiv, Ukraine. — P.19–21.
46. *Vidmachenko A.P.* Planetary atmospheres // Astronomical School's Report. 2009. — **6**, № 1. P.56–68.
47. *Vidmachenko A.P.* Reflectivity of Saturn's south equatorial region from 1977 through 1981 // *Astronomicheskii Vestnik*. — 1984. — **18**. — P.191–198.
48. *Vidmachenko A.P.* Seasonal changes and free oscillations of Giant Planets Atmosphere // Astronomical School's Report. — 2000. — **1**, №2. — P.91–105.
49. *Vidmachenko A.P.* Seasonal changes in the reflection characteristics of Saturn in 4 moments of Saturnian equinox // 17 International scientific conference Astronomical School of Young Scientists. The program and abstracts. May 20–22 2015. Zhytomyr, Ukraine. — P.10–14.
50. *Vidmachenko A.P.* Seasonal changes of methane absorption in the Saturn atmosphere // 46th Lunar and Planetary Science Conference. March 16–20 2015. Woodlands, Texas. LPI Contribution № 1832. — P.1051.
51. *Vidmachenko A.P.* Seasons on Saturn. I. Changes in reflecting characteristics of the atmosphere at 1964–2012 // Astronomical School's Report. — 2015. — **11**, № 1. — P.1–14.
52. *Vidmachenko A.P.* Seasons on Saturn. II. Influence of solar activity on variation of methane absorption // Astronomical School's Report. — 2015. — **11**, № 1. — P.15–23.
53. *Vidmachenko A.P.* Sedna: the history of the discovery and its features // Astronomical almanac 2006. — 2005. — **52**. — P.201–212.
54. *Vidmachenko A.P.* So is there any 9th planet in the Solar system? // 18th International scientific conference Astronomical School of Young Scientists. The program and abstracts. May 26–27 2016. National Aviation University, Kyiv, Ukraine. — P.108–110.
55. *Vidmachenko A.P.* Study of Earth-like planets // 16 International scientific conference Astronomical School of Young Scientists. The program and abstracts. May 29–31 2014. Kirovohrad, Ukraine. — P.12–13.
56. *Vidmachenko A.P.* The appearance of seasonal variations in Saturn's atmosphere // Kinematics and Physics of Celestial Bodies. — 1987. — **3**, №6. — P.10–12.
57. *Vidmachenko A.P.* The electrophotometry of Saturn. I — The distribution of brightness over the equatorial regions in the spectral range of 0.3–0.6 micron // *Astrometriia i Astrofizika*. — 1982. — **47**. — P.70–75.
58. *Vidmachenko A.P.* The floating ices on the surface of Pluto // 18th International scientific conference Astronomical School of Young Scientists. The program and abstracts. May 26–27 2016. National Aviation University, Kyiv, Ukraine. — P.10–12.
59. *Vidmachenko A.P.* The magnetic field of planets, satellites and asteroids // Astronomical School's Report. — 2012. — **8**, № 1. — P.136–148.
60. *Vidmachenko A.P., Dlugach Zh.M., Morozhenko A.V.* Nature of the optical nonuniformity in Saturn's disk // *Solar System Research*. — 1984. — **17**, №4. — P.164–171.
61. *Vidmachenko A.P., Dlugach Zh.M., Morozhenko A.V.* Nature of the optical inhomogeneity of Saturn's disk // *Astronomicheskii Vestnik*. — 1983. — **17**, № 4. — P.216–224.

62. *Vidmachenko A.P., Klimenko V.M., Morozhenko A.V.* Multicolor photometry of features on the disk of Jupiter. I – Relative spectrophotometry in the 1977–1978 observing period // *Astronomicheskii Vestnik*. – 1980. – **14**. – P.80–85.
63. *Vidmachenko A.P., Manko V.* Dwarf planets of the solar system. “Middle class” of the Solar system. In the world of dwarf planets // *Universe, space, and time*. – 2013. – **110**, № 9. – P.22–32.
64. *Vidmachenko A.P., Morozhenko A.V., Klyanchin A.* Features of morphology and geology of surface of Jupiter satellite Europa // *Astronomical School’s Report*. – 2011. – **7**, № 1. – P.117–132.
65. *Vidmachenko A.P., Morozhenko A.V., Klyanchin A., Shavlouskiy V., Ivanov Yu., Kostogryz N.* Asymmetry of reflective properties of the hemispheres of Jupiter satellite Europa // *Astronomical School’s Report*. – 2011. – **7**, № 1. – P.133–144.
66. *Vidmachenko A.P., Morozhenko O.V.* The physical characteristics of surface Earth-like planets, dwarf and small (asteroids) planets, and their companions, according to distance studies // *Main Astronomical Observatory NAS of Ukraine, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine*. – Kyiv, Publishing House “Profi”, 2014. – 388 p.
67. *Vidmachenko A.P., Morozhenko O.V.* The study Earth-like planets using spacecraft // *Astronomical School’s Report*. 2014. – **10**, № 1. – P.6–19.
68. *Vidmachenko A.P., Morozhenko O.V.* The study of the satellites surfaces and the rings of the giant planets. – *Main Astronomical Observatory NAS of Ukraine Press, Kyiv, Ltd. Dia*. 2012. – 255 p.
69. *Vidmachenko A.P., Steklov A.F.* The study of cometary material on the surface of the Earth // *Astronomical School’s Report*. – 2013. – **9**, № 2. – P.146–148.
70. *Vidmachenko A.P., Steklov A.F., Minyailo N.F.* Seasonal activity on Jupiter // *Soviet Astronomy Letters*. – 1984. – **10**. – P.289–290.
71. *Vidmachenko A.P., Steklov A.F., Minyailo N.F.* Seasonal activity on Jupiter? // *Pisma v Astronomicheskii Zhurnal*. 1984. – **10**. – P.691–695.
72. *Vidmachenko A.P., Vidmachenko H.A.* Is it dangerous asteroids? // *Astronomical almanac 2007*. – 2007. – **53**. – P.195–207.

Поступила в редакцію 25.08.2016
 Принята к печати 15.09.2016