



ISSN 2411–6602 (Online)

ISSN 1607–2855 (Print)

Том 12 • № 1 • 2016 С. 14 – 26

УДК 523.4+523.6+523.52

## Активність процесів на видимих поверхнях тіл Сонячної системи

А.П. Відьмаченко

Головна астрономічна обсерваторія НАН України

*Розглянуто фізичні процеси на поверхнях тіл Сонячної системи, які приводять до видимих змін їх відбивальних характеристик. Показано, що для кожного тіла у Сонячній системі є набір таких хімічних елементів та їх з'єднань, перетворення яких показує суттєву активність у такому значному діапазоні зміни температури від понад 700 К (для Меркурія) до 30 К для Плутона. Тобто всі об'єкти у Сонячній системі проявляють відчутну активність. Проте вони є дуже індивідуальними щодо набору і типу процесів, які мають місце на кожному тілі Сонячної системи.*

*АКТИВНОСТЬ ПРОЦЕССОВ НА ВИДИМЫХ ПОВЕРХНОСТЯХ ТЕЛ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ, Видьмаченко А.П. — Рассмотрены физические процессы на поверхностях тел Солнечной системы, которые приводят к видимым изменениям их отражательных характеристик. Показано, что для каждого тела в Солнечной системе есть набор таких химических элементов и их соединений, превращение которых показывает существенную активность в таком значительном диапазоне изменения температуры от более 700 К (для Меркурия) до 30 К для Плутона. То есть все объекты в Солнечной системе проявляют существенную активность. Однако они очень индивидуальны касательно перечня и типа процессов, которые имеют место на каждом теле Солнечной системы.*

*ACTIVITY OF PROCESSES ON THE VISIBLE SURFACES OF SOLAR SYSTEM BODIES, by Vidmachenko A.P. — We consider the physical processes on the surfaces of Solar System bodies, which lead to visible changes in their reflective characteristics. It is shown that each body in the Solar system has a set of chemical elements and their compounds, converting of which indicates significant activity in such a significant temperature change range from 700 K (for Mercury) to 30 K for Pluto. That is, all objects in the Solar system show a significant activity. However, they are very individual for the list and the type of the processes that take place on each body in the Solar system.*

**Ключевые слова:** процессы на поверхности; тела Солнечной системы; отражательные характеристики.

**Key words:** processes on surface; Solar System bodies; reflective characteristics.

За сучасними уявленнями, тіла Сонячної системи (СС) утворилися з єдиної газово-пилової хмари, а теперішнє їх різноманіття зумовлене внутрішніми і зовнішніми чинниками при еволюційних процесах. Сонячна система складається з центральної зірки — Сонця — і оточуючих її 8 великих (класичних), десятка карликових і сотень тисяч малих (астероїдів) планет та їх супутників, кометних ядер, метеороїдів і незліченної кількості дрібних метеоритних частинок [60, 105–108]. Сумарна маса великих планет в 743 рази менша за масу Сонця, а решти об'єктів — у 100 тис. разів. Внаслідок зіткнення тверді частинки в протопланетній хмарі обмінюються моментом кількості руху та енергією і при цьому встановлюється розподіл частинок у просторі і за швидкостями з найменшою ймовірністю зіткнення. Це відповідає руху в площині колової орбіти. Хімічні та фізичні розрахунки показують, що при зниженні температури в довільній частині туманності до 1600 К там починають з'являтися перші металеві елементи типу алюмінію і титану, які можуть утворювати оксиди металів у формі мікроскопічних пилинок. Із подальшим зниженням температури зовнішніх ділянок протопланетної туманності до 1400 К — з'являється залізо. Після цього починають утворюватися мікроскопічні частинки залізонікелевого сплаву у вигляді окремих пилинок. При температурі 1300 К з'являються тверді частинки силікатів. Мінерали магнію (напр., силікат магнію, енстатит  $MgSiO_3$  тощо) утворюються при температурі близько 1200 К. Ці складові є матеріалом для формування базальтових порід. А складніші суміші магнію, кальцію і заліза утворюються в залежності від температури, тиску і складу газу в різних областях протосонячної туманності. Оскільки місцеві умови визначаються відстанню від нещодавно сформованого Сонця, то в певних областях при температурі  $\sim 300$  К починають утворюватись молекули води. Поза головним поясом астероїдів, при температурі  $\sim 100$ – $200$  К, у найвіддаленішій частині туманності утворилися аміак, метан і їхні льоди. У зовнішній частині Сонячної системи ці льоди збереглися і зараз у кометних ядрах і в крижаних супутниках планет-гігантів, що пояснює існування великих запасів льоду саме в зовнішній частині Сонячної системи [105, 107].

Протягом  $\approx 400$  млн. років після утворення Сонця спочатку з пилової складової оточуючої його протопланетної хмари утворилося безліч проміжних тіл розміром у сотні кілометрів. Їх гравітаційна

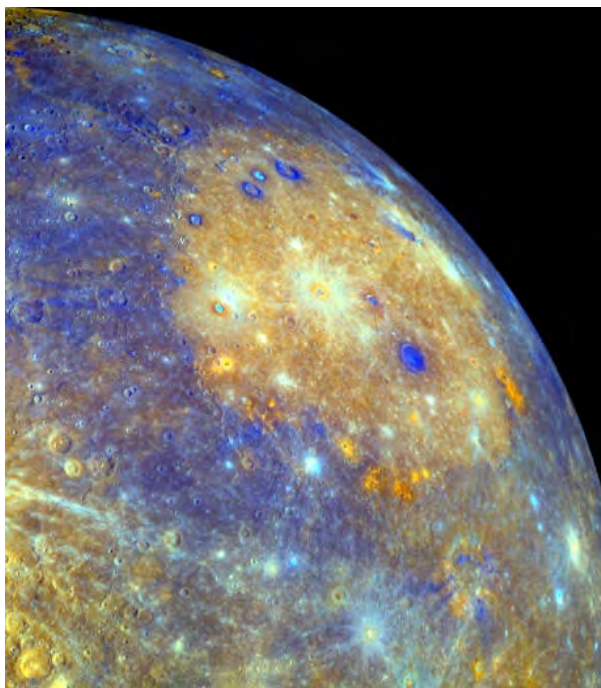
взаємодія підсилювалася в міру їхнього росту. Тіла, котрі росли найшвидше, ставали зародками майбутніх планет. Найбільші планети на основній стадії акумуляції вбирали в себе не лише тверді тіла, але й газ. Останніми роками вдалося виконати розрахунки динаміки рою тіл у зоні утворення планет земної групи, котрі підтвердили як характер розподілу швидкості на заключному етапі росту планет, так і час акумуляції Землі ( $\sim 10^8$  років). Процес утворення планет-гігантів був складнішим. На першому етапі тривалістю близько  $3 \cdot 10^7$  років в області Юпітера та  $2 \cdot 10^8$  років в області Сатурна відбувалася акумуляція твердих тіл у такий самий спосіб, як і в області планет земної групи. А коли маса найбільших тіл досягла критичного значення ( $\approx 3$  маси Землі), почався другий етап — акреція газу на ці, вже досить масивні тіла. Він тривав не менше  $10^5 - 10^6$  років. Отже, тривалість процесу формування планет є незначною порівняно з часом їхнього існування.

Всі тіла СС у тій чи іншій мірі показують прояви різного типу активності процесів чи на поверхні, чи на рівні видимих хмар. Вона залежить від віддаленості конкретного тіла від основного джерела енергії в СС — Сонця, — хімічного складу, фізичних умов на видимій поверхні тощо. Чим об'єкт далі від Сонця, тим нижча температура його видимої поверхні і тим усе цікавішим є набір процесів, хімічних і фізичних перетворень, які там можна реєструвати.

Так, найближча до Сонця і найменша планета земної групи **Меркурій** (рис. 1) за формою близька до сфери з радіусом  $\approx 2439$  км. Планета дуже повільно обертається навколо осі, фактично не має атмосфери, і тому їй характерні найбільші серед тіл СС перепади температури як протягом доби, так і в русі орбітою: середня температура його денного боку доходить до 623 К, нічного — лише 103 К, а на так званих «гарячих довготах» сягає 703 К опівдні [67, 89, 105, 106]. Поблизу північного й південного полюсів при спостереженні радіолокаторами виявили ділянки з високою відбивною здатністю. Це пов'язують з водяним льодом у приповерхневому шарі.

Вважають, що лід там може зберігатися на дні кратерів (при  $T < 95$  К), потрапляючи на поверхню Меркурія при ударах крижаних кометних ядер. Значну частину планети покривають залиті лавою рівнини, а тому масштаби вулканічної активності раніше істотно недооцінювались. Адже поряд з ударними кратерами виявлені такі, що їхнє дно заповнене лавою, яка могла виходити крізь тріщини, утворені під час ударів метеоритів, або ж вулканічного походження. Залиті лавою ділянки Меркурія здаються світлішими і є велика кількість значно молодших вулканічних рівнин, розташованими між гігантськими ударними кратерами. Аналіз отриманих КА «Мессенджер» даних підтверджує наявність вулканічних кратерів на поверхні Меркурія та вказує на недавню (а може й сучасну) вулканічну активність на планеті.

У спектрі щільної атмосфери **Венери** переважають потужні смуги поглинання вуглекислого газу, і для неї має місце потужний тепличний ефект [53]. Тому першу інформацію про її поверхневий шар одержали тільки в другій половині ХХ ст. спочатку зі спостережень у радіодіапазоні (особливо радіолокаційних), а пізніше — при безпосередньому фотографуванні в місцях посадки КА. Кратери на Венері



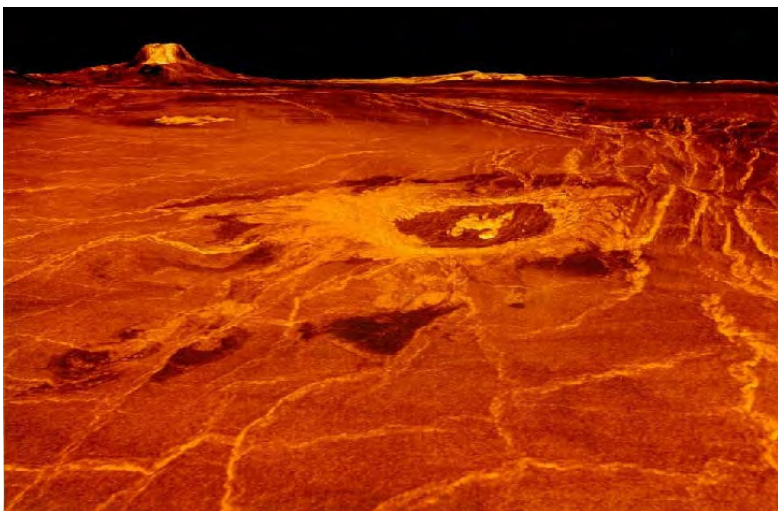
**Рис. 1.** Справа вгорі знімок басейне Калоріс діаметром 1300 км, подібний до колових морів Місяця; плоске дно оточене розломами і звивистими гребенями гір [116]

неглибокі, і навіть найбільші (діаметром 600 і 800 км) мають глибину лише по 700 м [8, 72, 89, 105, 106]. Значно глибшими виявились тріщини великої довжини. Так, одна шириною  $\sim 150$  км, а друга  $\sim 150-250$  км, мають глибину до 5 км. Вважається, що корінні породи — магматичного походження. На поверхні є також вулканічні і вулcano-тектонічні утворення, тектонічні дислокації та ударні кратери (рис. 2). Близько 500 млн. років тому кора планети піддалася інтенсивній деформації, сформувавши тессери, які зараз поширені на поверхні планети у вигляді окремих плям. Допускається, що причиною цього було розламування кори висхідними конвективними плюмами в мантії Венери. Надалі почався неодноразовий грандіозний вилив базальтових лав із зберігшої свій первинний склад верхньої мантії. Згідно спостереженням, сучасна вулканічна активність Венери є не дуже потужною. Найбільше вулканів знаходиться поблизу екватора у західній частині землі Афродіта, в областях Бета та Іштар [8, 105].

На видимому боці **Місяця** близько 300 000 кратерів мають діаметр більше 1 км, а найбільші сягають сотень кілометрів (рис. 3). Кратери діаметром менше 15–20 км мають просту чашоподібну форму, тоді як більші складаються з округлого валу з крутими внутрішніми схилами, на яких інколи спостерігаються тераси, та відносно плоского дна, заглибленого в навколишню місцевість. Через відсутність атмосфери на Місяці поверхневий шар стикається безпосередньо з вакуумом, тому водяний лід швидко випаровується, завдяки низькій силі тяжіння молекули води швидко вилітають у космос. Аналіз даних нейтронного спектрометра КА «Місячний розвідник» дозволив підготувати досить детальну карту поширення водню навколо місячних полюсів, згідно з якою він є лише в холодних приполярних пастках, виключаючи гіпотезу про рівномірний розподіл його концентрації в полярних регіонах. В деяких кратерах концентрація водню відповідає 1% в перерахунку на водяний лід [10, 11].

Понад 400 років на місячній поверхні спостерігались різноманітні *нестационарні явища*, переважно підсилення (зменшення) відносної (порівняно з яскравістю довкілля) яскравості окремих деталей, зміна їхніх обрисів, поява хмаринок тощо. При цьому активність Місяця як активно заперечувалась, так і час від часу підтверджувалась. Так, в 1961–1962 рр. в Манчестерському університеті методом фотоелектричної спектроскопії реєстрували контури фраунгоферової лінії H Ca у спектрах деталей місячної поверхні та Сонця. У деяких деталей було виявлено аномалію контуру лінії, що дозволило оцінити величину люмінесценції в різних деталях у межах 2–10%. Для пояснення цього М. Козирев висунув ідею активного вулканізму; висловлювались думки про вихід газів з надр Місяця, падіння метеоритів, вплив сонячної активності та інше.

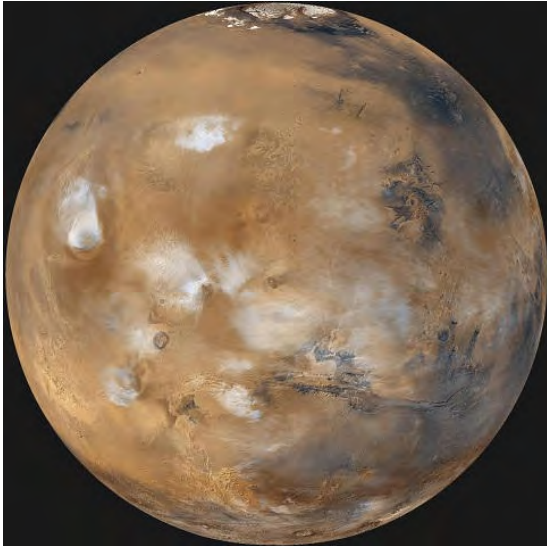
**Марс** обертається навколо Сонця по орбіті з ексцентриситетом  $\approx 0,1$  за 686,98 земних діб [78, 105–107]. На поверхні, крім материків і морів, у полярних районах спостерігаються дуже світлі полярні шапки, потужність яких змінюється в часі (рис. 4). Реєструвались також короткоживучі конденсатної природи хмари [1–5, 48], а над морями виникали пилові хмари (рис. 5), часом утворюючи глобальні пилові бурі, піднімаючи в повітря понад мільярд тон пилу [72, 74, 77, 89, 93–96, 99–101, 103]. Марсіанські кратери поділені на вулканічні та ударні, а за віком — на старі та молоді. Зображення з КА виявили сліди вулканізму й тектонічної діяльності, розломи, ущелини з розвиненими каньйонами [95, 105]. Деякі з них мають сотні кілометрів у довжину, десятки у ширину й кілька у глибину. Нові оцінки, одержані з підрахунку числа вулканічних кратерів, свідчать, що вулкани могли діяти всього 1–20 млн.



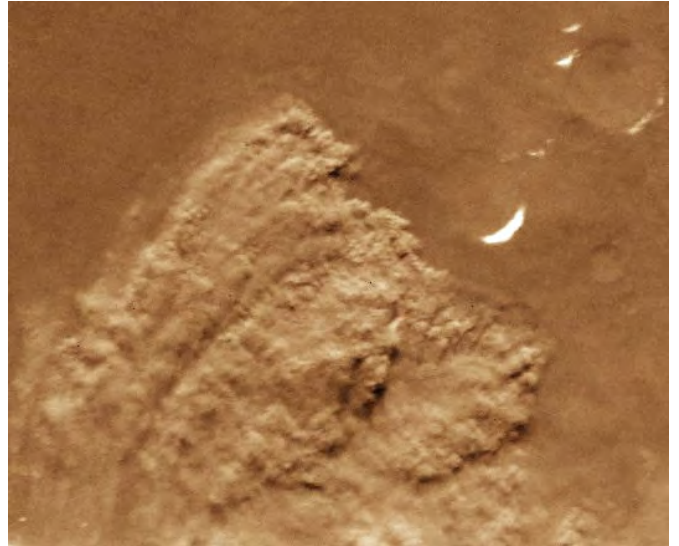
**Рис. 2.** Згенероване комп'ютером зображення поверхні Венери; вигляд з південного заходу на регіон Eistla [117]



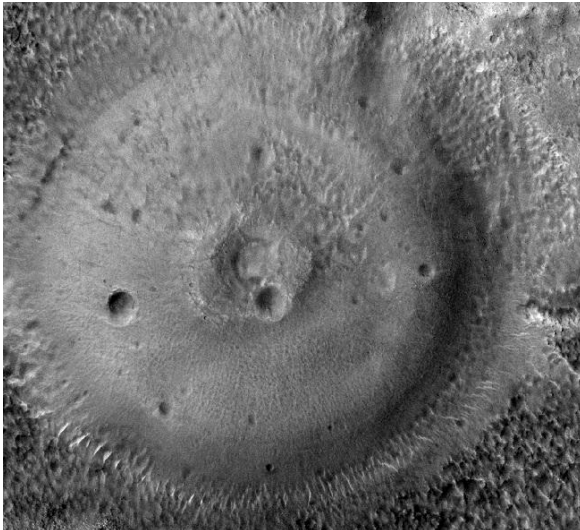
**Рис. 3.** Зображення зростаючого Місяця. Область справа від центра — Море Спокою. Білі промені виходять з кратера Тихо внизу зліва. Кратер Коперника знаходиться зліва від центра [117]



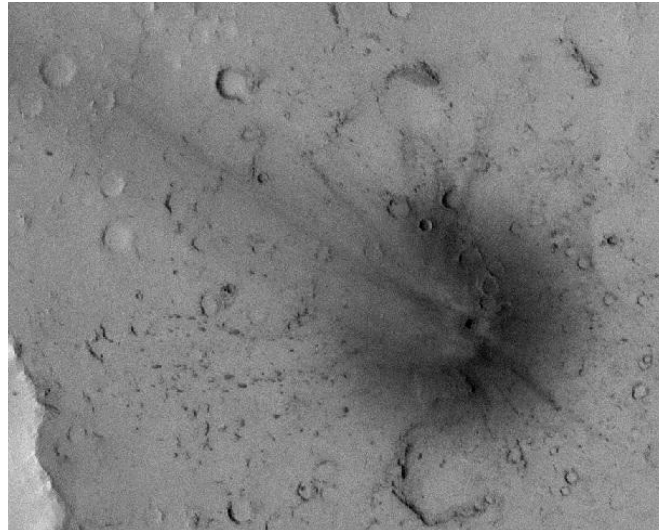
**Рис. 4.** Зображення Марса, складене комп'ютером із серій фото ширококутних камер з орбітальних апаратів КА «Вікінг». Видно синювато-білі водно-крижані хмари [116]



**Рис. 5.** Локальна пилова буря утворюється біля краю південної полярної шапки. Звичайно вони починаються в топографічно підвищених областях при високих теплових градієнтах (наприклад, біля полярної шапки), де вітри найсильніші [116]



**Рис. 6.** Можливий грязевий вулкан діаметром більше 100 м на північних рівнинах Марса в районі Acidalia Planitia [116]



**Рис. 7.** «Свіжий» кратер на поверхні Марса [116]



**Рис. 8.** Приполярні темні «плями» [116]



**Рис. 9.** Поклади водяного льоду та інею на поверхні Марса [116]

років тому [66, 74, 94].

КА «Орбітальний розвідник Марса» вперше зареєстрував схожі на гідротермальні джерела горби (рис. 6) у кратері Вернал в області Земля Арабія; вони невеликої висоти й еліптичної форми та схожі на гарячі джерела в Австралії. Порівняльний аналіз зображень значної частини марсіанської поверхні, отриманих в 1999 р. та повторно в 2003, 2005 і 2006 рр., виявив десятки нових кратерів діаметром від 2 до 148 м [70] (рис. 7) та зміни, що могли бути зумовлені лише потоками рідини [78, 95, 105].

Нарешті, на Марсі були виявлені незвичайні струмені газу, що містить метан, природа яких поки невідома. Вони можуть бути викидами грязевих вулканів, якщо тільки ця тепла грязь не містить мікроорганізмів, які можуть продукувати метан. Зазвичай конуси знаходять поблизу таких великих марсіанських вулканів, як Олімп, поряд з якими також є «сухі» русла. На цій підставі припустили, що конуси утворилися внаслідок нагрівання вулканічним теплом розташованого під поверхнею льоду: лід випаровувався, а водяна пара пробивала в ґрунті отвори для виходу на поверхню. На фотографіях поверхні виявлені також *темні плями* розміром  $\sim 50$  м (рис. 8) у південному і північному приполярних районах Марса. Вони з'являються наприкінці зими по периметру дюн (дуже рідко на їхніх гребенях) та зникають влітку. Оскільки ці плями такі ж холодні, як і крижана кора з вуглекислого газу під ними, то висловили припущення, що вони є струменями вуглекислого газу з пилом, які вириваються з кори через тріщини та отвори, що утворюються при нагріванні. На переданому КА «Марс Експрес» на початку лютого 2006 р. зображенні дна кратера діаметром 35 км та глибиною 2 км на рівнині Vastitas Borealis (на широті  $+70^\circ$ ) було виявлено доволі чистий круглий крижаний диск (рис. 9), а на внутрішній стороні кратера у верхній правій частині видно іній.

Оскільки температура й тиск у цьому районі такі, що там не може бути твердого діоксиду вуглецю (так званого сухого льоду), то ці поклади були віднесені на рахунок водяної криги, яка не випаровується через те, що вал кратера висотою 300 м закриває пряме сонячне світло. Товщина шару льоду в цьому диску сягає 200 м. Досить вагомі докази існування води на Марсі дав аналіз одних і тих самих ділянок поверхневого шару на зображеннях, отриманих КА «Марс глобал сервейер» та «Марс реконейсенс орбітер» у 1999, 2001 та 2004, 2005 рр., який виявив зміни, що могли бути зумовлені лише рідиною [95, 105]. Було виявлено промоїни на підсонячних схилах долин і кратерів, де спостерігалися яскраво забарвлені відкладення, яких не було раніше та які можливо є гряззю, сіллю або інеєм, залишеним потоками рідини.

Це означає, що Марс є геологічно активнішим, ніж раніше вважалося, та що активність потоків зосереджена в середніх широтах, а знайдені структури не старші кількох десятків чи навіть одиниць років і нагадують сліди рідини, що просочується з-під кори вічної мерзлоти. Характерно, що всі сліди водно-селевої ерозії були виявлені на північних схилах глибоких каньйонів у північній півкулі і на південних схилах у південній півкулі, де атмосферний тиск хоч і ненадовго, але дозволяє зберегти воду від моментального холодного закипання. Вважають, що вода просочилася з тріщин, які виникли після падіння метеорита, що пробив один із численних підземних резервуарів.

**Юпітер, Сатурн, Уран і Нептун** належать до типу планет-гігантів [27–33, 54, 79, 107, 112]. Їх характерною особливістю є великий розмір і низька середня густина (близько  $1 \text{ г/см}^3$ ). Наші ретельні дослідження показали чіткі прояви сезонних змін в атмосферах Юпітера і Сатурна [9, 20, 25, 34–47, 49–55, 57, 58, 61–64, 68–73, 75, 76, 79–84, 87, 88, 90, 91, 97, 98, 109, 110] на висотах, що відповідають нижній стратосфері та верхній тропосфері. Юпітер, Сатурн і Нептун випромінюють теплову енергію приблизно в 1,8–3 рази більше, ніж отримують від Сонця. Лише для Урана оцінки ефективної, рівноважної та обертової температури вказали на незначущість внутрішніх джерел тепла [16, 17]. Подібно Венері та Марсу, планети-гіганти також мають надхмаровий туман. На це вказували спочатку спостереження зміни блиску зір і галілеєвих супутників при їх затемненні Юпітером, а пізніше підтвердили ще й передані космічними апаратами зображення вранішнього і вечірнього лімбів у північній півкулі. Виявилось, що туман знаходиться в межах висоти, яка відповідає тиску 30–150 мбар на екваторі та 10–50 мбар на широті  $+40^\circ$ . Спостережені дані про оптичні та теплові властивості показали їх відмінність для світлих і темних деталей, що особливо характерно для Юпітера і Сатурна [9, 12, 54, 72]. Однією з причин цього може бути різниця в глибині, на якій розташована верхня границя хмарового шару цих деталей, і це було підтверджено аналізом спостережених даних для Юпітера [33, 36, 39, 50, 102]. Так, верхня границя хмарового шару у світлих зонах розташована вище, ніж у темних смугах і перепад висоти між EZ та NEB і SEB сягає 15 км [19, 21–23]. Південний і північний приполярні райони також розміщені на різній глибині. За допущення, що аерозоль широтних деталей диска Сатурна характеризується однаковими параметрами, було визначено відмінність оптичних характеристик цих деталей і величину оптичної товщини надхмарового газового шару  $\tau_R$ , які також вказують на відмінність положення границі хмарових шарів.

Багато які із супутників планет-гігантів також проявляють помітну вулканічну і гейзерну активність на своїх поверхнях [13, 15, 24, 104, 107, 113, 114]. Навіть, здавалося б, такий далекий планетоїд, як **Плутон**, який зараз є карликовою планетою [56, 57, 59, 65, 85, 86, 92, 105], за дослідженнями КА

«Нові горизонти» у липні 2015 р. з прольотної траєкторії, показав, що при такій низькій температурі поверхні, як 33–53 К, це дуже активний об'єкт Сонячної системи. Його поверхня бере участь у періодичному поновленні атмосфери, там спостерігається випадання опадів та виморожування атмосфери, теплова конвекція азотного льоду і навіть рух своєрідних айсбергів із водяного льоду по білосніжній пустелі. Тобто поверхня кожної із планет Сонячної системи є дуже активною при найрізноманітнішому наборі температур і хімічного складу. Наземні спостереження супутників (окрім хіба що Місяця) протягом майже 400 років стосувались в основному галілеєвих супутників Юпітера. На **Io** має місце активна вулканічна діяльність, яка приводить до утворення своєрідної атмосфери і плазмового тора [13, 18]. Це спонукало цілеспрямовані спектроскопічні спостереження Io, які в 1970-х рр. увінчалися відкриттям емісійних деталей кількох хімічних елементів (калію, натрію, сірки, кисню тощо). Особливо вагому інформацію отримали за допомогою КА «Галілео» та «Кассіні» [24, 26, 105, 107]. На переданих КА «Вояджер» зображеннях поверхні Io було виявлено 8 діючих вулканів, реальність яких підтвердили зображення КА «Галілео». Оскільки розмір Io явно недостатній для того, щоб радіоактивний розпад елементів у його надрах міг викликати сильний розігрів кори чи мантиї (як це має місце на Землі), то припустили, що розігрів супутника зумовлено гравітаційною взаємодією в системі Юпітера, завдяки чому протягом одного оберту Io навколо Юпітера (тобто кожні 1,7 доби) супутник міняє своє положення на середній орбіті приблизно на  $\pm 10$  км. Розрахунки показали, що за синхронного обертання навколо Юпітера навіть при ексцентриситеті орбіти 0,004 на Io має з'явитися припливний виступ у бік Юпітера, а при його русі по орбіті — різкі коливання (лібрація, похитування), яке зумовлює помітне прогинання літосфери та її нагрівання (переважно приповерхневих шарів), енергія якого може сягати 60–80 трильйонів ват. Спостереження в тепловій ділянці спектра підтвердили велику потужність теплового випромінювання Io ( $\approx 2$  Вт/м<sup>2</sup> або  $\approx 83$  трильйони ват), а згадані 8 активних вивержень були ототожнені з гарячими плямами на поверхні супутника. Через 4 місяці згас лише один найбільший вулкан (Пеле), температура поверхні навколо якого становила близько 600 К. Вулкани на Io розділені на типи. До першого відноситься більшість вулканів, яким притаманні  $T = 350 - 400$  К, швидкість виверження газових продуктів  $\sim 500$  м/с та висота газових султанів до 100 км. Другому типу притаманні вищі температури, швидкість виверження  $\sim 1000$  м/с, висота до 300 км. Характерною їх відмінністю є темна кільцева окантовка на відстані кілька сотень кілометрів від кальдери (вулкани Пеле, Сурт, Атен) та, можливо, більша глибина, з якої відбувається виверження. В центрі виверження звичайно розташовано кілька великих плоскогір'їв з обривистими краями і широкою долиною, що їх розділяє. Вважають, що виверження другого типу мають гейзерний характер, під час якого відбувається раптовий фазовий перехід летких речовин (рідина — газ), що характерно й для деяких земних вулканів. На Io для сірчастого газу перехід повинен відбуватися при  $T \approx 400$  К, для сірки — при  $T \approx 700$  К. За цієї гіпотези, малі султани відповідають викидам з невеликої глибини, великі султани — з глибоких резервуарів.

Кора Io є сумішшю сірчаних компонентів та силікатних уламків і може мати відносно низьку середню густину близько її поверхні, тому її тепловий градієнт буде практично нульовим майже до літосфери. Наявність такого екстремального температурного градієнта приводить до того, що сірка є твердою в більшій частині літосфери аж до глибини в 25 км, тоді як рідкий SO<sub>2</sub> присутній у більшій частині літосфери [13]. Вулканічні кратери займають  $\sim 2\%$  загальної площі поверхні супутника, їх вигляд суттєво різниться. Так, вулкан Ра Патера вирізняється тим, що радіально від нього відходять змієподібні потоки на відстань до 300 км, які ще й змінюють відтінки від коричневого до світло-оранжевого і навіть сніжно-білого тонів, однак їх природа поки що мало зрозуміла. В той же час, у темному джерелі кратера вулкана Локі знаходиться світла пляма, а його довкілля досить однорідне. На переважно рівнинному поверхневому шарі супутника виявлено ряд гірських масивів з висотою до 9 км, поряд з ними — ями й куполи розміром від десятків до сотень метрів, які є найбільш складними у розумінні їх природи. Так, за однією з версій, вони утворюються при взаємодії розжареної лави з поверхнею Io.

На зображеннях **Європи** не було виявлено ознак вулканічних вивержень, хоча й з'являлися публікації, в яких відмічалась поява над лімбом диска супутника слабких «султанів» газового складу, які якщо й існують, то є надзвичайно рідкісним явищем. Її поверхневий шар є льодовою оболонкою, вкритою тріщинами й торосами [24, 104, 113, 114]. Судячи з деяких морфологічних утворень, товщина верхньої літосфери оцінюється в кілька кілометрів, а виділеного за рахунок припливного механізму тепла недостатньо для сильного розігріву існуючої маси льоду. Не виключається наявність в надрах Європи рідкої води, об'єм якої має бути близьким до земного, якщо його глибина складає 50–60 км. Виявлені темні плями й опуклі утворення могли сформуватися в результаті процесів, аналогічних лавовим виливам (під дією внутрішніх сил теплий, розплавлений лід рухається від нижньої частини поверхневої кори вгору, холодний лід осідає, занурюючись вниз; це ще один з доказів присутності рідкого, теплого океану під поверхнею). Світлі утворення на поверхні показують, що велика частина поверхні Європи покрита паморозю. Поки що відсутні прямі свідчення активності на Європі, і геологічна історія її поверхні не має нічого спільного з історією сусідніх супутників. Її крижана кора досить рухома і неодноразово розко-

лювалася від внутрішньої напруги і великомасштабних тектонічних процесів. На її поверхні виявлено тільки 43 крупні ударні кратери діаметрами 2–80 км [107]. Найбільший кратер названо Тайр. По одній з гіпотез, тіло, що сформувало цю поверхню, могло пройти крізь кору в менш крихкі глибші шари, де й відбувся основний підрив, від епіцентру якого розповсюдилася ударна хвиля. В той же час довкілля структури Пвілл, Цилікс і Маннаннан скоріше нагадують об'єкти таких же розмірів на супутниках Каллісто й Ганімед, коли, ймовірно, тіло-ударник неглибоко проникло у кору через свій малий розмір, або було менш щільне порівняно з породою поверхні в області Тайр, або ж кора там виявилася набагато тонша, ніж в інших областях.

Високе альbedo поверхні Європи свідчить, що лід досить чистий і, отже, досить молодий, утворений порівняно недавно. Кількість великих кратерів на поверхні Європи незначна, що також свідчить про порівняну молодість поверхні супутника. Так, з підрахунку кількості кратерів з розмірами більше 10 км Шумейкер оцінив її вік в  $\sim 1,5$  млн. років, а дрібніших кратерів — у 30 млн. років. Порівняння знімків КА «Вояджер» і «Галілео» не виявило якихось помітних змін на поверхні. Оскільки поверхневий шар дуже згладжений, перепад висоти дуже рідко перевищує 50 м, це також трактується або як дуже молодий рельєф, або як існування якогось постійного механізму його згладження. На користь другого говорить висока температура (рідкий океан з води) і здатність льоду за таких умов до пластичних переміщень (льодовики). Для отримання однозначнішої відповіді було зроблено спробу визначити, наскільки поверхня Європи може забруднюватись сіркою за рахунок її викиду з Іо. Виявилось, що насправді сірчаних покладів на поверхні Європи набагато менше від очікуваної її кількості, яка при середній швидкості її випадання повинна була б скласти не менше 10 см за 1 млн. років. Звідси відразу ж слідує факт, що через тріщини, окрім прямого випаровування, зі всієї поверхні супутника в цілому викидається не менше 100 кг води щосекунди. Дно підлідного океану Європи переважно має складатися із силікатних порід основної речовини, а якщо є місця підвищеного тепловиділення (підводні вулкани), то в результаті термохімічного синтезу там можуть виникати досить складні хімічні сполуки. Проте існування таких вогнищ вулканізму поки не виявлено і воно досить сумнівне, оскільки маса Європи поступається навіть масі спокійного у вулканічному відношенні Місяця.

У системі Сатурна унікальними за своїми властивостями є супутник Титан з його потужною атмосферою та Енцелад зі своєю вулканічною активністю. Присутність значної кількості водяного льоду в складі супутників Сатурна — це пряма вказівка на їх утворення в зоні низьких температур, які й нині характерні для зовнішньої частини Сонячної системи. Отримані зображення супутника **Діоні** показують, що його ландшафт не складається з товстих крижаних відкладень, а основний внесок в альbedo дають яскраві розломи й стінки кратерів [6]. Розломи іноді перетинають дно кратерів, що незалежно може вказувати на їх відносну молодість. Навколо Діоні виявлено викинутий матеріал, що, можливо, вказує на сучасну вулканічну активність супутника, яка поставляє матеріал до кільця Е Сатурна [107, 118]. **Титан** було відкрито в 1655 р. Х. Гюйгенсом [111]. Цей супутник оповитий потужною атмосферою [14]. Великий обсяг експериментів протягом 2004–2008 рр. провів космічний апарат (КА) «Кассіні». 14 січня 2005 р. було здійснено посадку модуля «Гюйгенс» на поверхню Титана. Він протягом 2,5 годин на парашутах опускався з висоти 1270 км на поверхню і проводив експерименти по вивченню атмосфери і структури поверхневого шару. Якщо при температурі Титана можуть співіснувати рідкий і газоподібний метан, то вода й аміак мусять потрапляти в атмосферу тільки як вулканічні викиди, а водно-аміачний розчин скоріше всього є основою лави таких холодних вулканів. Метанові хмари в тропосфері Титана дуже динамічні: вони виникають буквально за півгодини внаслідок підйому повітряної маси з середньої тропосфери до тропопаузи, де вони проливаються дощем і потім розсіюються протягом наступної години. В атмосфері іноді з'являються хмари з етанового снігу. Його конденсація на полюсах взимку може пояснити відсутність рідких етанових водоймищ в низьких і в середніх широтах супутника [26, 107]. На зображеннях Титана чітко проявляються кратерні утворення, гірські хребти, тектонічні розломи, безліч дивних темних (моря, озера) і яскравих плям, руслоподібні утворення з численними розгалуженими притоками, окремі брили тощо. Малу насиченість ударними кратерами пов'язують з ерозією поверхні, перенесенням речовини вітрами з формуванням дюн тощо. Оскільки в умовах теплового режиму Титана не може бути й мови про рідку воду, то в якості можливого кандидата частіше всього пропонується метан, дощі якого можуть випадати й утворювати відповідні потоки. Утворені водойми сильно різняться розміром (від 1 до 100 000 км<sup>2</sup>): зі знайдених 700 озер на більше 70% обстеженої території більшість має розмір понад 26 000 км<sup>2</sup>. Не виключена і тектонічна активність на Титані. Наприклад, знайдено структуру, яка могла виникнути при зіткненні різних областей кори. Дослідження показали, що її західний край за три місяці змінив свою форму завдяки свіжому виверженню. Рідиною, що насичує ґрунт може бути зріджений метан, а поверхня Титана нагадує губку, вкриту тонкою плівкою поки що не ідентифікованої речовини, яка своїми фізичними властивостями нагадує глину чи вологий пісок. Цікавим виявився факт швидких змін на поверхні. Так, на багатьох зображеннях за 2008 р. було виявлено, що зафіксовані у 2005 р. морфологічні деталі поверхні змінили своє розташування майже на 30 км і це не відповідає

прогнозу стандартної моделі обертання, але можна пояснити існуванням океану з води й аміаку глибоко під крижаним поверхневим шаром.

Орбіта **Енцелада** знаходиться в кільці Е Сатурна. Вже перші передані КА «Вояджер-2» зображення вказали на його незвично гладку та яскраву поверхню, нерівномірно вкриту ударними кратерами, жолобами і гірськими хребтами. Найповніша інформація щодо Енцелада була отримана з допомогою апаратури КА «Кассіні», і передані зображення виявили там ще й міжгір'я, рівнини, зморщену місцевість та інші деформації, які можуть свідчити про наявність у його середині речовини в рідкому стані. Крім того, була виявлена досить динамічна атмосфера, основними складовими якої є 65% водяної пари, 20%  $H_2$  і решта 15% складають  $CO_2$ ,  $N_2$  і  $CO$ . Характер розподілу густини водяної пари з висотою вказує, що вона може виділятися з якогось геотермального джерела. Особливо значна її кількість виявлена в районі південного полюса [2, 68], який є свого роду оазою в крижаній пустелі зі значно вищою температурою (93 К замість очікуваних 72 К). Південна полярна область виявилася осередком відчутної геологічної активності. Вона покреслена паралельними тріщинами (тигровими смугами) завдовжки близько 130 км, віддаленими одна від одної на  $\approx 40$  км. Ці смуги представляють собою 4 западини, із яких було зареєстровано кілька десятків викидів. Вони мають різний розмір, і їх видима середня висота близько 100 км. Із припущення, що пара викидається з його поверхні з тепловою швидкістю, вихід водяної пари гейзерами через розломи повинен бути у кількості 150 кг/с [7]. За таких умов повний потік тепла, що виходить через тигрові смуги у південній полярній області Енцелада, становитиме  $5,8 \pm 1,9$  ГВт. Оскільки на Енцеладі реєструються виверження, то можна стверджувати, що його первинно сформована поверхня повністю змінилася під дією геологічних процесів протягом останніх кількох сотень мільйонів років. Навряд чи супутник містить достатньо радіоактивних елементів для розігріву, а його орбіта має недостатній ексцентриситет для введення в дію зумовленого Сатурном припливного механізму, тому була висунута ідея такої взаємодії з супутниками Мімас і Діона [107].

На супутнику Нептуна **Тритон** ще наземна спектрофотометрія виявила смуги поглинання метану, інтенсивність яких мінялася в часі і це було приписано його атмосфері [107]. Навколо Нептуна він обертається по коловій орбіті з періодом 5,88 діб і знаходиться в синхронному обертанні (обернений до Нептуна одним і тим же боком), площа його орбіти нахилена до екваторіальної площини планети на кут  $23^\circ$ . Через велику густину ( $2,05$  г/см<sup>3</sup>) допускають, що в нього мусить бути потужне ядро з твердих порід (можливо, навіть металеве), яке вміщує до двох третин маси супутника. Поверхнева температура  $\sim 38$  К. Своїм розміром, структурою та іншими властивостями Тритон дуже схожий на карликову планету Плутон [57, 59, 92]. На його зображенні виявлено величезні крижані скелі, темні смуги вулканічного походження і тріщини шириною  $\sim 30$  км і довжиною до 1000 км. Загалом рельєф поверхні нагадує вкриту кратерами сітку поперечником у 20–30 км і валами висотою до 300 м. Сюрпризом стало зображення південного полюса, який тривалий час був повернений до Сонця і який оточувала яскрава полярна шапка з дуже високою яскравістю (альbedo до 95%). Вона займала майже половину поверхні супутника. На її дуже світлій поверхні було відмічено велику кількість темних крапель, з яких угору тягнуться струмені темної речовини. Вони виявились газовими гейзерами, які сягали висоти 8 км, вище вони змінили кут нахилу майже на  $90^\circ$  і перетворилися спочатку в невеликі густі темні хмари, а потім витягнулися в широкі горизонтальні шлейфи в західному напрямку довжиною понад 150 км. Такий дивний різкий злам гейзерних викидів може говорити про те, що на висоті  $\sim 8$  км знаходиться тропопауза в атмосфері супутника, вище котрої дмуть сильні вітри. Причиною такої активності якраз і вважають нагрівання Сонцем; саме воно, скоріше за все, зумовлює плавлення азотного льоду на деякій глибині під поверхнею, де є також водяний лід і метанові сполуки темного кольору. Тиск такої газової суміші, що виникає в глибинному шарі за температури  $+4^\circ C$ , буде цілком достатнім для того, щоб викинути газовий фонтан. Виявилось, що в цій області зовсім немає ударних кратерів. Це може свідчити про її відносну молодість. Таким чином, Тритон долучився до Землі, Венери, Іо, Титана та Енцелада, на яких і зараз проявляється вулканічна активність, але його природа суттєво відрізняється. Якщо виверження на Землі й Венері складаються з гірського матеріалу, на Іо — з сірки і/або сірчаних з'єднань, то на Енцеладі й Тритоні — це своєрідні гейзери.

Таким чином, розглянуті вище процеси на поверхнях тіл Сонячної системи приводять до видимих змін їх відбивальних характеристик. І для кожного такого тіла є набір таких хімічних елементів та їх з'єднань, перетворення яких показує суттєву активність у такому значному діапазоні зміни температури від 700 К (для Меркурія) до 30 К для Плутона. Тобто всі об'єкти у Сонячній системі проявляють відчутну активність. Але вони є дуже індивідуальними щодо набору і типу процесів, які мають місце на кожному тілі Сонячної системи.

1. 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.
2. Churyumov K.I., Steklov A.F., Vidmachenko A.P., Dashkiev G.N. Observations of twilight fireballs over Kiev in



- 2013–2015 // V Interregional Scientific Conference, Astronomy and present. April 12, 2016. Materials. Vinnytsia, Ukraine. — P.33–37.
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 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.
  5. *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. Poznan, Poland. Program and abstracts, IAU C22, Session P12 Fireballs, 2013, Contribution No. 077.
  6. *Clark R.N., Curchin J., Jaumann R., et al.* Compositional mapping of Saturn's satellite Dione with Cassini VIMS and implications of dark material in the Saturn system // *Icarus*. — 2008. — **193**, № 2. — P.372–386.
  7. *Collins G.C., Goodman J.C.* Enceladus' south polar sea // *Icarus*. — 2007. — **189**, № 1. — P.72–82.
  8. *Crumpler L.S., Head J.W., Aubele J.C.* Relation of major volcanic center concentration on Venus to global tectonic patterns // *Science*. — 1993. — **261**, № 5121. — P.591–595.
  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. *Feldman W.C., Lawrence D.J., Elphic R.C., et al.* Polar hydrogen deposits on the Moon // *J. Geophys. Res.* — 2000. — **105**, № E2. — P.4175–4195.
  11. *Feldman W.C., Maurice S., Binder A.B., et al.* Fluxes of fast and epithermal neutrons from Lunar Prospector: Evidence for water ice at the lunar poles // *Science*. — 1998. — **281**, № 5382. — P.1496–1500.
  12. *Klimenko V.M., Morozhenko A.V., Vid'machenko A.P.* 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.
  13. *Kruger H., Geissler P., Horanyi M., et al.* Jovian dust streams: A monitor of Io's volcanic plume activity // *Geophys. Res. Letters*. — 2003. — **30**, № 21. — P. SSC 3–1.
  14. *Kuznetsova J.G., Musaeov F.A., Bondar A.V., Sergeev A.V., Vid'machenko A.P.* The results of extensive object and Titan observations first obtained with aid of the coude echelle spectrometer fed by the 2-m telescope at the Terskol observatory (Northern Caucasus) // 33rd Annual Lunar and Planetary Science Conference. March 11–15 2002. Houston, Texas. Abstract № 1201.
  15. *Kuznyetsova Y., Vidmachenko A., Krushevskaya V., Klyanchin A., Velichko S., Sokolov I., Bondar A.* Spectral peculiarities of major Jovian satellites // International Conference "Astronomy and Space Physics in Kyiv University". May 24–27 2016. Book of abstracts. Kyiv, Ukraine. — P.63.
  16. *Kuznyetsova Yu., Matsiaka O., Shliakhetskaya Y., Krushevskaya V., Vid'machenko A., Andreev M., Sergeev A.* Spectral Researches of Uranus and Neptune Atmospheres // 45th Lunar and Planetary Science Conference, held 17–21 March, 2014 at The Woodlands, Texas. LPI Contribution No. 1777. — P.1836.
  17. *Kuznyetsova Yu., Vidmachenko A., Matsiaka O., Shliakhetskaya Y., Yushkin M., Krushevskaya V.* Researches of Long-Term Variations in Uranus and Neptune Spectra // *Odessa Astronomical Publications*. — 2015. — **28**, № 2. — P.285–288.
  18. *Lopes R.M.C., Williams D.A.* Io after Galileo // *Rep. Prog. Phys.* — 2005. — **68**, № 2. — P.303–340.
  19. *Morozhenko A.V., Ovsak A.S., Vid'machenko A.P., Teifel V.G., Lysenko P.G.* Imaginary Part of the Refractive Index of Aerosol in Latitudinal Belts of Jupiter's Disc // *Kinematics and Physics of Celestial Bodies*. — 2016. — **32**, № 1. — P.30–37.
  20. *Morozhenko A.V., Vid'machenko A.P.* Astronomical Polarimeters and Features of Polarimetric Observations // *Photopolarimetry in Remote Sensing, NATO Science Series II: Mathematics, Physics and Chemistry*. — 2005. — **161**. — P.479–486.
  21. *Morozhenko A.V., Vid'machenko A.P.* Polarimetry and Physics of Solar System Bodies // *Photopolarimetry in Remote Sensing, NATO Science Series II: Mathematics, Physics and Chemistry*. — 2005. — **161**. — P.369–384.
  22. *Morozhenko A.V., Vid'machenko A.P.* Problems of remote investigations of planets // 34th COSPAR Scientific assembly. The second world space congress. Huston, Texas, USA. 10–19 October 2002. — P.54–55.
  23. *Ovsak A.S., Teifel V.G., Vid'machenko A.P., Lysenko P.G.* Zonal differences in the vertical structure of the cloud cover of Jupiter from the measurements of the methane absorption bands at 727 and 619 nm // *Kinematics and Physics of Celestial Bodies*. — 2015. — **31**, № 3. — P.119–130.
  24. *Shaolovskiy 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.
  25. *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.
  26. *Turtle E.P., Perry J.E., McEwen A.S., et al.* Cassini imaging of Titan's high-latitude lakes, clouds, and south-polar surface changes // *Geophys. Res. Lett.* — 2009. — **36**, № 2. — P.1–6.
  27. *Vid'machenko A.P.* A new method for registration of oscillations in atmospheres of Jovian planets // *Kinematika i Fizika Nebesnykh Tel. Suppl.* — 2000. — № 3. — P.206–208.

28. *Vid'machenko A.P.* Absolute electrophotometry of features of Saturn's disc // Physics of planetary atmospheres. — 1981. — P.113–132.
29. *Vid'machenko A.P.* Absolute electrophotometry of the B ring of Saturn // Physics of planetary atmospheres. — 1981. — P.132–138.
30. *Vid'machenko A.P.* Brightness variations and free oscillations in Jupiter's atmosphere // Kinematika i Fizika Nebesnykh Tel. — 2002. — **18**, № 3. — P.227–242.
31. *Vid'machenko A.P.* Brightness variations of celestial objects in astronomical observations at the Maidanank Mountain // Kinematika i Fizika Nebesnykh Tel. — 1994. — **10**, № 5. — P.62–68.
32. *Vid'machenko A.P.* Giant planets — Theoretical and observational aspects // Astronomicheskii Vestnik. — 1991. — **25**. — P.277–292.
33. *Vid'machenko A.P.* Observed manifestations of inner wave processes in the atmosphere of Jupiter // Kinematika i Fizika Nebesnykh Tel. — 1988. — **4**. — P.40–46.
34. *Vid'machenko A.P.* On activity of Jupiter's atmosphere // 29th Annual Lunar and Planetary Science Conference, March 16–20, 1998, Houston, TX, abstract no. 1092.
35. *Vid'machenko A.P.* On the activity of Jupiter's atmosphere // Kinematika i Fizika Nebesnykh Tel. — 1985. — **1**, № 5. — P.91.
36. *Vid'machenko A.P.* Polarization characteristics of Jupiter's latitude belts // Kinematics and Physics of Celestial Bodies. — 1989. — **5**, № 4. — P.45–47.
37. *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.
38. *Vid'machenko A.P.* Seasonal variations in the optical characteristics of Saturn's atmosphere // Kinematics and Physics of Celestial Bodies. — 1999. — **15**, № 5. — P.320–331.
39. *Vid'machenko A.P.* Settling of dust in Jupiter's atmosphere after the impact of fragments of comet Shoemaker-Levy 9 // Kinematics and Physics of Celestial Bodies. — 1995. — **11**, № 4. — P.14–16.
40. *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.
41. *Vid'machenko A.P.* The albedo of the southern equatorial region of Saturn in 1977 – 1981 // Astronomicheskii Vestnik. — 1984, **18**, № 3. — P.191–198.
42. *Vid'machenko A.P.* The appearance of seasonal variations in Saturn's atmosphere // Kinematika i Fizika Nebesnykh Tel. — 1987. — **3**. — P.10–12.
43. *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.
44. *Vid'machenko A.P.* Variations in Reflective Characteristics of Jupiter's Atmosphere // Astronomicheskii Vestnik. — 1999. — **33**, № 6. — P.527–535.
45. *Vid'machenko A.P.* Variations in Reflective Characteristics of Jupiter's Atmosphere // Solar System Research. — 1999. — **33**, № 6. — P.464.
46. *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.
47. *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.
48. *Vid'machenko A.P., Dovgopol A.N., Klimenko V.M., Shaolovskij V.I.* Spectral values of transmittance of the Earth's atmosphere on Mt. Majdanak // Methods for increasing the efficiency of optical telescopes. — 1987. — P.51–60.
49. *Vid'machenko A.P., Kuznetsova J.G., Krushevskaya V.N.* Nonlinear optical effects in planetary atmospheres // Kinematika i Fizika Nebesnykh Tel. — 2003. — Suppl. № 4. — P.108–112.
50. *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.
51. *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" (Naukovi visti). — 2006. — № 6. — P.71–81.
52. *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.
53. *Vid'machenko A.P.* Activity of processes on the visible surface of planets of Solar system // XVIII International scientific conference "Astronomical School of Young Scientists". The program and abstracts. National Aviation University, Kyiv, Ukraine. May 26–27 2016. — P.23–27.
54. *Vid'machenko A.P.* Atmospheres of giant planets // Astronomical School's report. — 2008. — **4**, № 2. — P.92–103.
55. *Vid'machenko A.P.* Brightness variations of celestial objects in astronomical observations at the Maidanank mountain // Kinematika i Fizika Nebesnykh Tel. — 1994. — **10**, № 5. — P.62–68.
56. *Vid'machenko A.P.* Could it be the ninth planet in the Solar system? // International Conference "Astronomy and Space Physics in Kyiv University". May 24–27 2016. Book of abstracts. Kyiv, Ukraine. — P.67–68.

57. *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.
58. *Vidmachenko A.P.* Electrophotometry of Saturn. II — Spectral brightness distribution along the central meridian // *Astrometriia i Astrofizika*. — 1984. — **51**. — P.56–62.
59. *Vidmachenko A.P.* *Features of surface topography and the geological activity of Pluto* // XVIII International scientific conference “Astronomical School of Young Scientists”. The program and abstracts. National Aviation University, Kyiv, Ukraine, May 26–27, 2016. — P.12–14.
60. *Vidmachenko A.P.* Impact craters at falling of large asteroids in Ukraine // XVIII International scientific conference “Astronomical School of Young Scientists”. The program and abstracts. National Aviation University, Kyiv, Ukraine, May 26–27, 2016. — P.27–30.
61. *Vidmachenko A.P.* Influence of solar activity on Jupiter’s atmosphere // XVIII International scientific conference “Astronomical School of Young Scientists”. The program and abstracts. National Aviation University, Kyiv, Ukraine, May 26–27, 2016. — P.17–19.
62. *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.
63. *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 No. 1903. — P.1092.
64. *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.
65. *Vidmachenko A.P.* Is there 9-th planet in our solar system? // Gamow International Conference. 14–20 August, 2016, Odessa, Ukraine.
66. *Vidmachenko A.P.* Is there life on Mars and where necessary to search for its traces // Astronomy and present: materials of 5 Interregional Scientific Conference, April 12, 2016, Vinnytsia, Ukraine. / Science editor A.V. Mozhovyi. — Vinnytsia: FOP “NP Kostiuk”, 2016. — P.43–48.
67. *Vidmachenko A.P.* Mysterious Mercury spacecraft studying // *Astronomical almanac 2008*. — 2007. — **54**. — P.185–207.
68. *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, ISBN: 05891181746. — P.209–220.
69. *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.
70. *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 No. 1903. — P.1091.
71. *Vidmachenko A.P.* Periodic changes in the activity of the hemispheres of Jupiter // XVIII International scientific conference “Astronomical School of Young Scientists”. The program and abstracts. National Aviation University, Kyiv, Ukraine. May 26–27, 2016. P.19–21.
72. *Vidmachenko A.P.* Planetary atmospheres // *Astronomical School’s Report*. — 2009. — **6**, № 1. — P.56–68.
73. *Vidmachenko A.P.* Possible effect of the rings on the photometric properties of Saturn’s cloud layer // *Kinematika i Fizika Nebesnykh Tel*. — 1985. — **1**, № 6. — P.12–15.
74. *Vidmachenko A.P.* Processes on the “young” Mars: possible developments of events // XVIII International scientific conference “Astronomical School of Young Scientists”. The program and abstracts. National Aviation University, Kyiv, Ukraine. May 26–27 2016. P.16–17.
75. *Vidmachenko A.P.* Reflectivity of Saturn’s south equatorial region from 1977 through 1981 // *Astronomicheskii Vestnik*. — 1984. — **18**. — P.191–198.
76. *Vidmachenko A.P.* Reflectivity of Saturn’s south equatorial region from 1977 through 1981 // *Solar System Research*. — 1985. — **18**, № 3. — P.123–128.
77. *Vidmachenko A.P.* Research of the Mars by space vehicles // 11 International scientific conference “Astronomical School of Young Scientists”. May 26–29, 2009. The program and abstracts. Kherson, Ukraine. — P.11–12.
78. *Vidmachenko A.P.* Research of the Mars by space vehicles // *Astronomical School’s Report*. — 2009. — **6**, № 1–2. — P.131–137.
79. *Vidmachenko A.P.* Seasonal changes and free oscillations of Giant Planets Atmosphere // *Astronomical School’s Report*. — 2000. — **1**, № 2. — P.91–105.
80. *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”. May 20–22, 2015. Zhytomyr, Ukraine. The program and abstracts. — P.10–14.
81. *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 No. 1832. — P.1051.
82. *Vidmachenko A.P.* Seasonal Variation of Methane Absorption at Saturn’s Atmosphere // *Astronomicheskii Tsi rkulyar*. — 1984. — № 1331. — P.1.

83. *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.
84. *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.
85. *Vidmachenko A.P.* Sedna: the history of the discovery and its features // Astronomical almanac 2006. — 2005. — **52**. — P.201–212.
86. *Vidmachenko A.P.* So is there any 9-th planet in the Solar system? // XVIII International scientific conference “Astronomical School of Young Scientists”. The program and abstracts. National Aviation University, Kyiv, Ukraine. May 26–27, 2016. — P.108–110.
87. *Vidmachenko A.P.* Solar activity influence on seasonal changes in Saturn's atmosphere // 446th Lunar and Planetary Science Conference. March 16–20, 2015. Woodlands, Texas. LPI Contribution No. 1832. — P.1052.
88. *Vidmachenko A.P.* Some dynamical parameters of the Jupiter atmosphere // *Kinematika i Fizika Nebesnykh Tel.* — 1986. — **2**, № 1. — P.48–51.
89. *Vidmachenko A.P.* Study of Earth-like planets // 16 International scientific conference “Astronomical School of Young Scientists”. May 29–31, 2014. The program and abstracts. Kirovohrad, Ukraine. — P.12–13.
90. *Vidmachenko A.P.* The appearance of seasonal variations in Saturn's atmosphere // *Kinematics and Physics of Celestial Bodies.* — 1987. — **3**, № 6. — P.10–12.
91. *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.
92. *Vidmachenko A.P.* The floating ices on the surface of Pluto // XVIII International scientific conference “Astronomical School of Young Scientists”. The program and abstracts. National Aviation University, Kyiv, Ukraine. May 26–27, 2016. — P.10–12.
93. *Vidmachenko A.P.* The magnetic field of planets, satellites and asteroids // Astronomical School's Report. — 2012. — **8**, № 1. — P.136–148.
94. *Vidmachenko A.P.* Traces of life on Mars must be sought around the valley Hellas in areas where the water coming out from under the planet's surface // XVIII International scientific conference “Astronomical School of Young Scientists”. The program and abstracts. National Aviation University, Kyiv, Ukraine. May 26–27, 2016. — P.14–16.
95. *Vidmachenko A.P.* Water on Mars // Astronomical almanac 2010. — 2009. — **56**. — P.225–249.
96. *Vidmachenko A.P.* Where is Necessary to Search Traces of Life on Mars? // Biosignature Preservation and Detection in Mars Analog Environments conference. May 16–18, 2016. Hyatt Regency Lake Tahoe. Abstract #2002.
97. *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.
98. *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.
99. *Vidmachenko A.P., Dovgopol A.N., Klimenko V.M., Shaolovskij V.I.* The transparency of the Earth's atmosphere on Maidanak mountain from observations at 1977–1985. 1. Average per night coefficients of transparency // *Kinematics and physics of celestial bodies*, deposited in VINITI, M.: vyp.7, № 6261–85, 1985, Kiev, 14 p.
100. *Vidmachenko A.P., Klimenko V.M., Morozhenko A.V.* Apparent spectral albedos of the disk of Mars in September-October 1977 // *Astronomicheskii Vestnik.* — 1980. — **14**. — P.199–201.
101. *Vidmachenko A.P., Klimenko V.M., Morozhenko A.V.* Apparent spectral albedos of the disk of Mars in September-October 1977 // *Solar System Research.* — 1981. — **14**, № 4. — P.157–159.
102. *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.
103. *Vidmachenko A.P., Klimenko V.M., Morozhenko A.V.* The transparence of the Earth atmosphere on Maidanak mountain during the autumn and winter of 1977–1978 // *Astrometriia i Astrofizika.* — 1979. — **39**. — P.84–87.
104. *Vidmachenko A.P., Morozhenko A.V., Klyanchyn A.I.* The morphology and geology of the surface features of Jupiter's satellite Europa // 13 International scientific conference “Astronomical School of Young Scientists”. May 12–14, 2011. The program and abstracts. Chernigiv, Ukraine. — P.15–16.
105. *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.
106. *Vidmachenko A.P., Morozhenko O.V.* The study Earth-like planets using spacecraft // Astronomical School's Report. — 2014. — **10**, № 1. — P.6–19.
107. *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.
108. *Vidmachenko A.P., Steklou A.F.* The study of cometary material on the surface of the Earth // Astronomical School's Report. — 2013. — **9**, № 2. — P.146–148.

109. *Vidmachenko A.P., Steklov A.F., Minyailo N.F.* Seasonal activity on Jupiter // *Soviet Astronomy Letters*. — 1984. — **10**. — P.289.
110. *Vidmachenko A.P., Steklov A.F., Minyailo N.F.* Seasonal activity on Jupiter // *Pisma v Astronomicheskii Zhurnal*. — 1984. — **10**. — P.691–695.
111. *Vidmachenko A.P., Vidmachenko H.A.* Is it dangerous asteroids? // *Astronomical almanac 2007*. — 2007. — **53**. — P.195–207.
112. *Vidmachenko A.* Seasonal changes and free oscillations of Giant Planets Atmosphere // *Astronomical School's Report*. — 2000. — **1**, № 1. — P.91–105.
113. *Vidmachenko A., Morozhenko A., Klyanchin A.* Features of morphology and geology of surface of Jupiter satellite Europe // *Astronomical School's Report*. — 2011. — **7**, № 1. — P.117–132.
114. *Vidmachenko A., Morozhenko A., Klyanchin A., Shavlovskiy 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.
115. *Vidmachenko A., Morozhenko O.* Rings of Sarurn // *Astronomical almanac 2011*. — 2010. — **57**. — P.238–264.
116. <http://photojournal.jpl.nasa.gov/>
117. [http://nssdc.gsfc.nasa.gov/photo\\_gallery](http://nssdc.gsfc.nasa.gov/photo_gallery)

Надійшла до редакції 14.07.2016  
Прийнята до друку 25.08.2016