

# РАМУЕКА

## АРХІТЭКТУРА

Архітэктурны праект:  
Навукова-адукацыйны цэнтр

## МЕДЫЦЫНА

Тэрапія спінальна-цяглічнай  
атрафіі ды яе перспектывы

## МЕДЫЦЫНА

Кароткая гісторыя  
рацыянальнага  
дизайну лекаў

## ГЕАГРАФІЯ

Глыбакаводныя плыні і  
падводныя пустэльні

## МЕТЭАРАЛОГІЯ

Як вызначыць аблокі і  
надвор'е?

## АСТРАНОМІЯ

Дом здабыты: рэцэпт  
двайніка Зямлі

## ІНФАРМАТЫКА

Пачатак эры квантавых  
камп'ютараў

## МАСТАЦТВА

Свет з прывідамі

## КОМІКС

Жыццёвы цыкл зорак



**Прэмія  
БІЗОН ГІГС**

Рэцензія на фільм «Опэнгаймэр»  
Ад фізіка-тэарэтыка да фізіка-практыка!

# РАМУŁКА

Вітаем цябе, чытачу!

Гэта трэці нумар PAMYŁKA ZIN!

Мы вельмі цешымся, што да каманды стваральнікаў працягваюць далучацца новыя навукоўцы і мастакі! І мы будзем радыя кожнаму новаму ўдзельніку!

Сябры, мы рэдакцыяй надумалі запачаткаваць прэмію - «Бізон Гігс». Таму гэты нумар мы прысвячаем усім беларускім навукоўцам і хочам анансаваць прэмію, якая будзе ўласабляць сабой Беларусь і навуку разам! Гэта ўзнагарода для беларускіх навукоўцаў і даследнікаў дакладных і прыродазнаўчых навук ад навукова-папулярнага часопісу Pamyłka Zin.

Больш дэталяў апавядаде першы артыкул нумару.

Над зінам працавалі:

МЕНЕДЖАРКА СУПОЛЬНАСЦІ  
**Света Волчак**

ПЕРАКЛАДНІЦА, РЭДАКТАРКА  
**Настасься Кахан**

КАМУНІКАЦЫЯ З МАСТАКАМИ  
**Алесь Залескі**

ДЫЗАЙН, ВЁРСТКА  
**Паліна Лістапад**

**PAMYŁKA • НАДРУКАВАНА Ў ПОЛЬШЧЫ • 2023**

Ідэя і аўтарства ілюстрацыі на  
вокладцы: **Света Волчак**

Наконт ўсіх пытанняў пісаць на  
**pamylka.zin@gmail.com**

# ЗМЕСТ

## 4 ПРЭМІЯ «БІЗОН ГІГС»

## 6 АРХІТЭКТУРА

Архітэктурны праект:  
Навукова-адукацыйны цэнтр

## 16 МЕДЫЦЫНА

Тэрапія спінальна-цяглічнай  
атрафіі ды яе перспектывы

## 18 МЕДЫЦЫНА

Кароткая гісторыя  
рацыянальнага дызайну лекаў

## 25 ГЕАГРАФІЯ

Глыбакаводныя плыні і  
падводныя пустэльні

## 35 МЕТАРАЛОГІЯ

Як вызначыць аблокі і  
надвор'е?

## 39 АСТРАНОМІЯ

Дом здабыты: рэцэпт  
двайніка Зямлі

## 45 ІНФАРМАТЫКА

Пачатак эры квантавых  
камп'ютараў

## 49 МАСТАЦТВА

Свет з прывідамі

## 54 КОМІКС

Жыццёвы цыкл зорак

## 56 РЭЦЭНЗІЯ НА ФІЛЬМ

### «ОПЭНГАЙМЭР»

Ад фізіка-тэарэтыка да фізіка-  
практыка!



## ПРЕМІЯ «БІЗОН ГІГС»

### Дзеля чаго?

Мэта прэміі – зрабіць беларускіх навукоўцаў бачнымі. Найперш – для сябе ж, а далей – і для ўсяго свету. І ўласна мы, навукоўцы, будзем дапамагаць нам самым у гэтай справе. Пакуль **мы** не пачнём ацэніваць сябе і падтрымліваць сябе, ніхто нас не пачне паважаць, ацэніваць і падтрымліваць.

### За дасягненні ў якіх навуковых тэмах даецца прэмія?

Тэматыка прэміі будзе сугучная з тэматыкаю *Ramyłka Zin*. То бок мы запрашаєм намінавацца жывых навукоўцаў, якія займаюцца даследаваннямі ў галінах **дакладных і прыродазнаўчых навук**.

### За што даецца прэмія?\*

Лаўрэатамі прэміі стануць асобы, якія зрабілі нешта значнае для сусветнае науки: **адкрылі новую тэорыю, даказалі тэарэму, адкрылі новыя біялагічныя від, распрацавалі патэнт і г. д.**

### Як намінаваць навукоўца на прэмію?

Для намінацыі трэба даць мінімум два контакты, якія пацвердзяць датычнасць навукоўца да адкрыцця, якія ведаюць,

што той робіць і рабіў, і могуць пра гэта апавесці.

Калі навуковец працаваў у групе і зрабіў адкрыццё, ягоныя калегі з групы могуць яго намінаваць. Чалавек не зможа намінаваць сябе, але кожны зможа намінаваць іншага.

### Што ўяўляе сабой узнагарода?

Мы створым асобны лот для прэміі на платформе *Buyl Me a Coffee*, каб узнагародзіць пераможцу. Усе атрыманыя такім чынам гроши пойдуць навукоўцу пераможцу (ці некалькім асобам) як данэйт разам з сімвалічнай узнагародай у выглядзе бізона.

На гэты момант – у першы год прэміі – мы плануем адну агульную намінацыю. Але ў выпадку, калі цікаўнасць і рух вакол прэміі будуць вялікія і мы збяром шмат кандыдатаў, мы разгледзім і іншыя варыянты – як уручэнне адразу некалькіх прэміяў.

### Як абіраецца пераможца?

Пераможцу абяруць шляхам адкрытага галасавання. Кожны здолеет аддаць свой голос за навукоўца, які падасца найбольш цікавым.

Мы будзем вельмі ўдзячныя за парады пляцовак, на якіх можна правесці празрыстае і зручнае галасаванне.

### Мы радыя вашым парадам адносна прэміі!

Дэталі прэміі яшчэ дапрацоўваюцца і абміяркоўваюцца. Калі вы маеце заўвагі ці прапановы, просім пісаць нам у пошту з пазнакай у тэме лістка «Бізон Гігс».

І калі вы маеце сяброў, калегаў ці знаёмых даследнікаў, якіх лічыце вартымі намінацыі на нашую прэмію, калі ласка, расскажыце ім пра «Бізон Гігс» (:

### Чаму бізона завуць Гігс?!

Назва «Бізон Гігс» – гэта мэм, які мы падчапілі з інтэрнэту. Ён – у найлепшых постмадэрнісцкіх традыцыях – адсылае да часціцы базон Гігса.

Базонамі называюцца часціцы, якія пераносяць узаемадзеянне, у адрозненне ад звычайных нам часціцаў – ферміёнаў.

Базон Гігса – апошняя часціца, якая дапоўніла фізічную тэорыю пад назваю «стандартная мадэль». Маса іншых часціц



цаў тлумачыцца іх узаемадзеяннем з полем Гігса, квант якога - базон Гігса.

Яго прапанаваў брытанскі фізік-тэарэтык Пітер Гігс у 1964 годзе. Пра адкрыццё абвесцілі ў 2012 годзе пасля аналізу вынікаў Вялікага гадроннага калайдара.

**\*Болей разгорнута пра тое,  
за якія заслугі даецца прэмія**

**UserCase1:**

Група хімікаў распрацавала новыя лекі ад раку. Адзін з удзельнікаў группы - беларус. Калегі могуць намінаваць яго на прэмію.

**UserCase2:**

Група касмолагаў знайшла новую экзапланету, умовы на якой набліжаныя да Зямлі, яна можа быць прыдатная для будучых калоній ў чалавецтва ў космасе. Адна з удзельніц группы - беларуска. Калегі могуць намінаваць яе на прэмію.

**UserCase3:**

Матэматыца даказала адну з тэарэмаў стагоддзя, напрыклад, гіпотэзу Рымана. У гэтым выпадку яна ўжо атрымае мільён долараў ад Матэматычнага інстытуту Клэя :) І сябры могуць намінаваць яе на прэмію.

**UserCase4:**

Біёлаг вывеў новы від кампосных чарвякоў, якія могуць перапрацоўваць у 3 разы болей арганікі, што дазваляе ўтрымліваць вэрмі-ферму ў сябе ў кватэры тром асобам і кіраваць сваім арганічным смеццем. Сужыхары могуць намінаваць яго на прэмію.

**UserCase5:**

Стартап распрацаваў новую карысную *open source* - аплікацыю для смартфона. Яна распазнае, калі прыладу бярэ ў руکі не ўладальнік смартфона і сцірае ўсю ўразлівую інфармацыю, папярэдне захаваўшы рэзервовую копію ў воблачным сковішчы. Каманда распрацоўнікаў можа намінаваць на прэмію калегу, які прыдумаў прагрэсіўны алгарытм.

### Мастацкі конкурс на ўласабленне ўзнагароды «Бізон Гігс»!

Мы абвяшчаем конкурс для мастакоў і скульптараў на ўласабленне ўзнагароды - бізона Гігса. Неабходна намаляваць узнагароду ў любой рэалістычнай мастацкай тэхніцы ці зляпіць, зняць і даслаць нам фота.

Важна ўлічыць месца для размяшчэння назвы «Бізон Гігс», году, ім'я і прозвішча пераможцы.

Малюнкі і здымкі прымаюцца з 1 снежня 2023 да 1 студзеня 2024.

Сабраўшы конкурсныя працы, мы абвесцім адкрытае галасаванне, у хадзе якога будзе абраная адна выява. Пасля замовім 3D-мадэль для друку на 3D-прынтары.

\*Выявы да анонсу прэміі мы згенеравалі пры дапамозе ШІ, дзеля натхнення і прыкладнага ўяўлення нашых чаканняў ад эскізаў да статуэткі.





# АРХІТЭКТУРНЫ ПРАЕКТ: НАВУКОВА-АДУКАЦЫЙНЫ ЦЭНТР

АЎТАРКА ПРАЕКТУ - Ганна Сімонік



Рычарда Фейнмана (*Richard Feynman*), нобэлеўскага лаўрэата ў галіне фізікі. Да-рэчы, ягоны бацька – эмігрант з Беларусі, а маці – з Польшчы. Калі коратка: аповед аб прыгодах і падарожжы аматара розных штук і ў сумяшчальніцтве прафесара фізікі. Тоё, чаму я магла сапраўды пазайздросціць у добрым сэнсе: Рычард Фейнман з дзяцінства забаўляў сябе вывучэннем усяго, што траплялася пад руکі. Ён раскалупваў і рамантаваў рэчы, цікавіўся tym, з чым спачатку зусім не быў знаёмы. А як даўно вядома, што было ў дзяцінстве, адбіваецца на далейшым жыцці. Я, напрыклад, молявалася. І як вынік – сталася архітэктаркаю (калі верыць напісанаму ў дыпломе).

Дык ці ёсць падабенства паміж навукай і мастацтвам (давольце мне аднесці сюды архітэктуру)? Калі браць мастацтва, то, паводле некаторых звестак, мазгі мастака працуюць падобна да мазгой вар'ята. Падобныя працэсы. А калі браць навуку, то хто будзе ёю займацца, не будучы сапраўдным вар'ятам (жарт!). Падабенства ў наступным: тое, што робяць ды над чым доўга і старанна працуюць навукоўцы, не ўсе разумеюць. Не кожны прыме таго, пра што яны гавораць. Трэба ці то даверыцца, ці то трошкі ведаць. Як і з мастацтвам.

Навучанне на архітэктуры – гэта сам па сабе цяжкі і надзвычай цікавы, творчы працэс. Архітэктар – чалавек (ці робат?) з пластычнымі мазгамі: трэба ведаць усё і пра ўсё з розных сфераў, розныя тэхнолагічныя працэсы і іх складанне. Мазгі да такое разнастайнасці звыкаюць, і таму цікавіцца чымсьці зусім, здавалася б, няблізкім – гэта норма.

Вучылася я ў Берасцейскім дзяржаўным тэхнічным універсітэце. І праз 5 гадоў з пачатку атрымання адукацыі архітэктара выявілася, што трэба абіраць тэму дыпломнага праекту. Як ужо пісалася, у той час я якраз трапіла пад уплыў кнігі Фейнмана, раней чытанага Перэльмана, выпадкова пазнаёмілася са студэнтам-фізікам, яшчэ і відэа Святланы Волчак пра Вялікі палескі калайдар пабачыла – ці то не знак, што тэма ўжо абрачная?

Але і без доўгіх тулянняў у пошуках канкрэтныі на тэму не абышлося. Спачатку хацелася адразу спраектаваць цэлы інстытут фізікі. З лабараторыямі, тэхнолагічнымі машынамі і камп'ютарамі, прымысловымі мадэлямі. Чаго ўтвараць – калайдар, гадронны, вялікі! У чым мяне падтрымліваў нават мой дыпломны кіраунік. X)

Дысклэймер. Піша асона, якая толькі-толькі атрымала архітэктурную адукацыю. Апісанае ніжэй не будзеца і ў хуткім часе не плануецца да будаўніцтва.

Леанарда да Вінчы, Язэп Драздовіч, Рычард Фейнман – не самы шалёны падбор імёнаў, але кагосьці з іх вы дакладна ведаецце. Што іх яднае? У свой час яны сумясцілі навуку і мастацтва. Зрабілі сапраўдны выклік грамадству. Ім удалося.

Тэма няблізкасці галінаў настолькі мяне зацікавіла ў свой час, што я пастанавіла дакладней з ёй азнаёміцца. Ажно зрабіла дыпломны архітэктурны праект на тэму навукова-адукацыйнага цэнтра. У артыкуле я апішу гэты працэс і трошачкі паразважаю над вынікамі.

Улетку мне трапілася кніга «Вы, вядома, жартуюце, спадару Фейнмане» (*Surely You're Joking, Mr. Feynman!*) аўтарства...

Рэмарка. Акрамя таго, што трэба абраць тэму, дамовіцца з сабою, не трэба забываць, што дамовіцца трэба і з выкладчыкамі, а гэта не дыпломны кіраунік (з якім мне вельмі пашанцевала). Трэба шукаць кампраміс і спрабаваць аргументаваць ідэю ў самым пачатку яе нараджэння. І разумець, што час на працу абмежаваны. Таму я спынілася на музей навукі. А дакладней, на навукова-адукцыйным цэнтры (далей скарочана НАЦ)! Тэхналогія стварэння музею навукі даволі складаная: трэба ведаць тэму, якія навукі і галіны рэпрэзентаваныя, на які ўзрост скіраваныя інсталяцыі, якія ўва ўсяго памеры, што за чым ідзе, колькі на тое трэба месца, як захоўваць логіку і паслядоўнасць.

За прыклад быў узяты Цэнтр навукі «Капернік» у Варшаве. Была там калісьці ў дзяцінстве. На жаль, у Беларусі няма нічога падобнага, акрамя Цэнтра навукі «Квантум» і яшчэ невялікіх прастораў тут і там. Таму застаецца марыць і праектаваць самой.





Калі тэма збольшага акрэслілася, з'явілася неабходнасць і ў тэрыторыі. А яна не прымусіла сябе доўга шукаць – востраў Памежны ў Берасці.

Калі адысці ў гісторыю (зусёй асцярогаю), можа выявіцца, што востравам яго цяжка назваць, хутчэй, левым берагам Буга, якраз на злучэнні («вяселлі») дзвюх рэк – Мухаўца і Буга. А востравам гэты лапік зямлі стаўся толькі падчас будаўніцтва крэпасці ў першай палове XIX стагоддзя. Востраў месціцца на мяжы Беларусі і Польшчы. Цяпер ён закрыты для наведнікаў, акрамя арганізаваных экспкурсіяў па запісе. Гэта зразумець можна – мяжа. Але існуе ж у свеце даволі яскравы прыклад, як з такою зямлёю працеваць – тэрыторыя на мяжы Швейцары і Францыі. Разумееце, пра што я? Так! Ізноў ён – Вялікі гадронны калайдар. Таму рашэнне было прынятае: тэрыторыю трэба распрацоўваць.



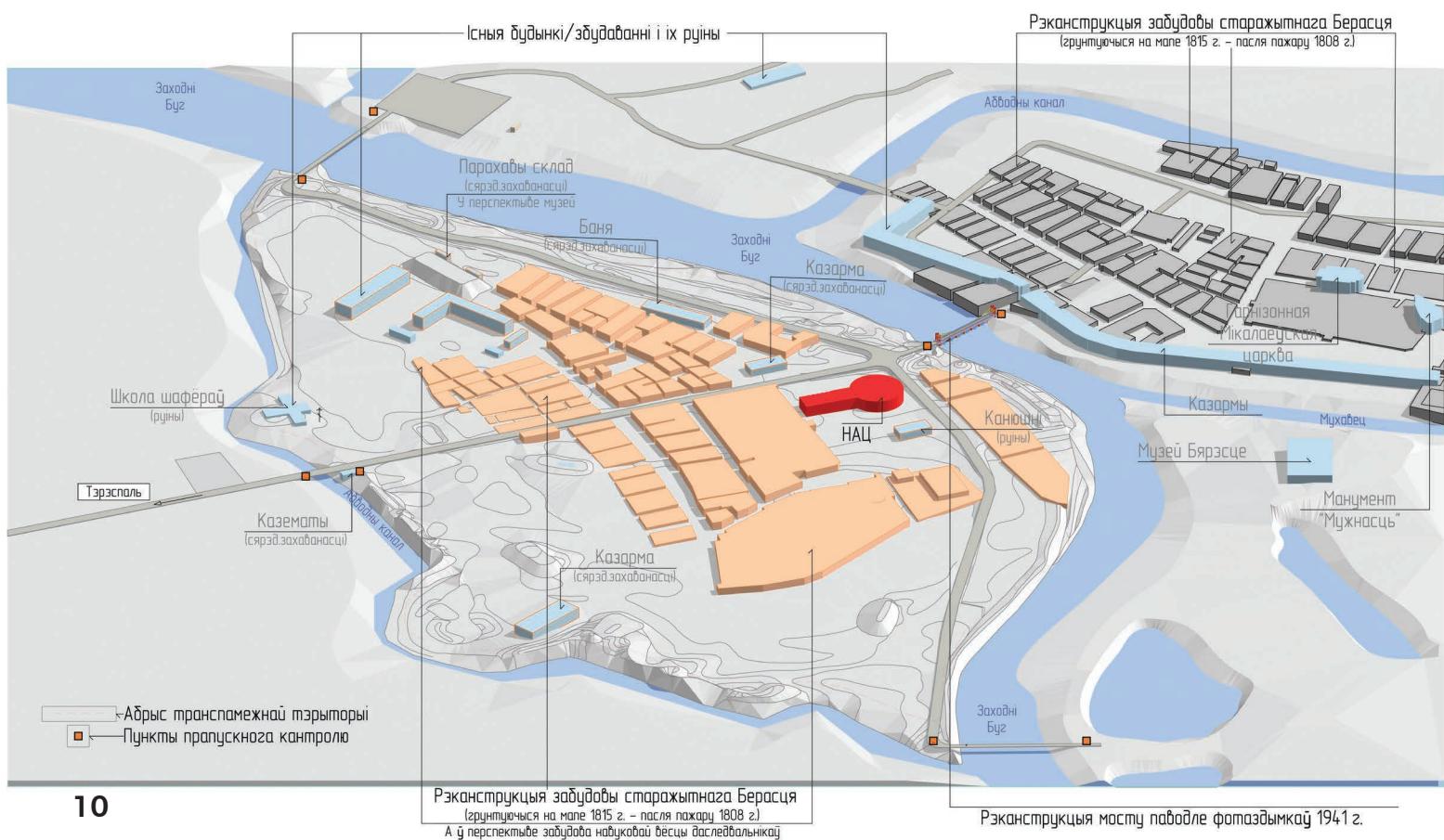
Пагатоў адна з важных мэтаў развіцця гораду - яго ўшчыльненне. Гэта адрозненне гораду ад іншай населенай адзінкі - шчыльнасць. Адносна дзіўна, калі ў самым горадзе пустуюць такія вялікія пляцоўкі. Будзем выпраўляць. Дарэчы, паводле дэталёвага плану на будучыя дзесяткі гадоў, там нічога не збіраюцца будаваць. Таксама выправім!

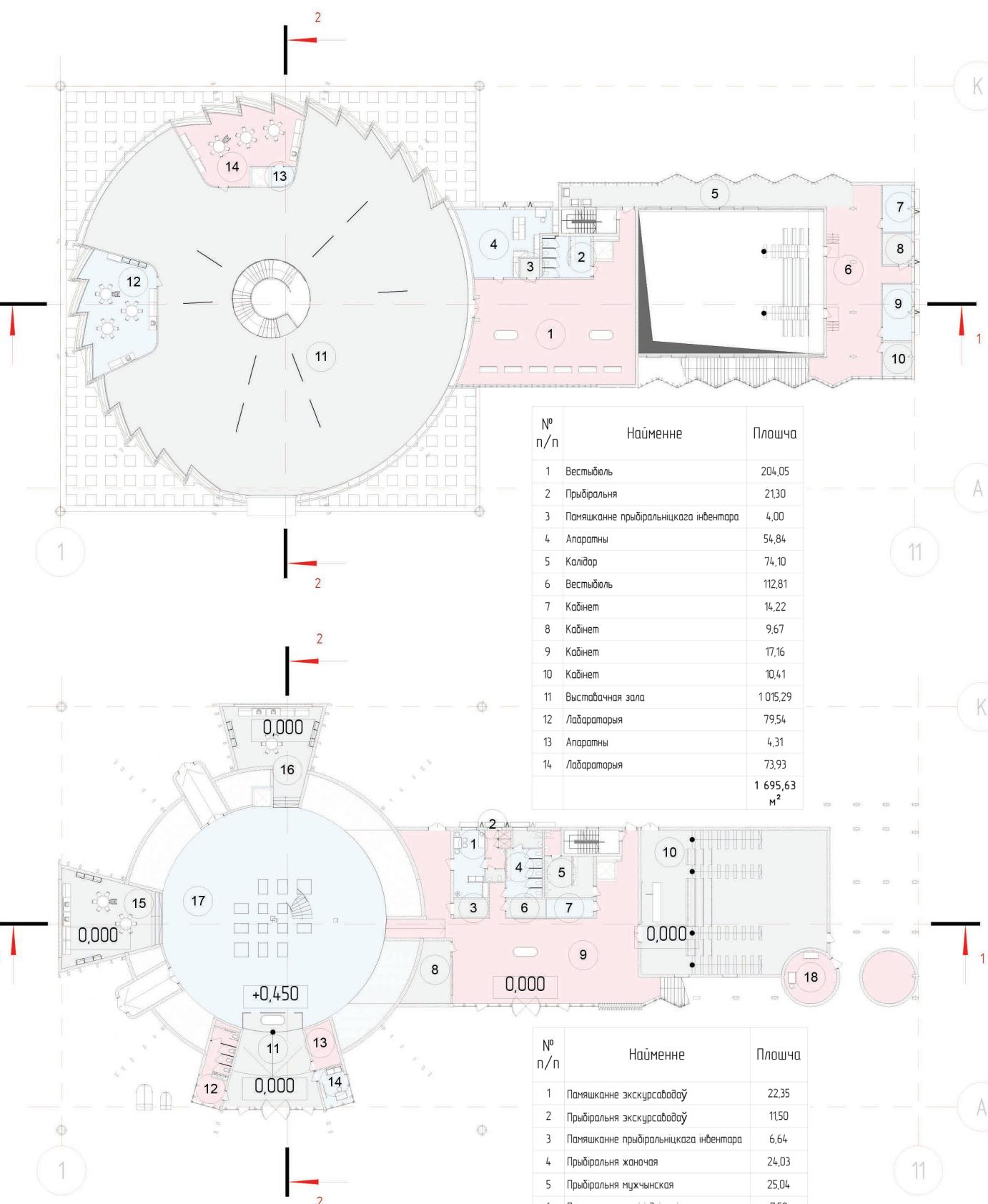
У часе абраяння тэмы дыплому ў нас ішлі

апошнія лекцыі радыяцыйнае бяспекі (жыццё нібы паказвала знакі: глядзі, усё падштурхоўвае да абранае тэмы, трэба толькі пачаць пытаць і шукаць далей!), і я запытала ў выкладчыцы наконт магчымасці пабудаваць маленькі гадронны калайдар. Натуральна, гэта выклікала ўсмешку, але яна не адмовілася апавесці, што маленькім яго не зробіш і ўплыў на горад будзе даволі значны. Чаго я і чакала. На базавым узороні сапраўднага дылетанта я разумею, што будаваць калайдар каля гораду не найлепшая ідэя. І гэта ўсё проста жарты. Каб жа было так проста! Паменшыць габарыты! Габарыты можна паменшыць толькі сваім хацелкам.

Рэмарка другая. Лянота. Вялікі боль. І цяжкі праклён таго, хто сутыкаецца. А яшчэ думкі, кшталту, навошта гэта ўсё. Бывае. Перажываем. І ідзём далей.

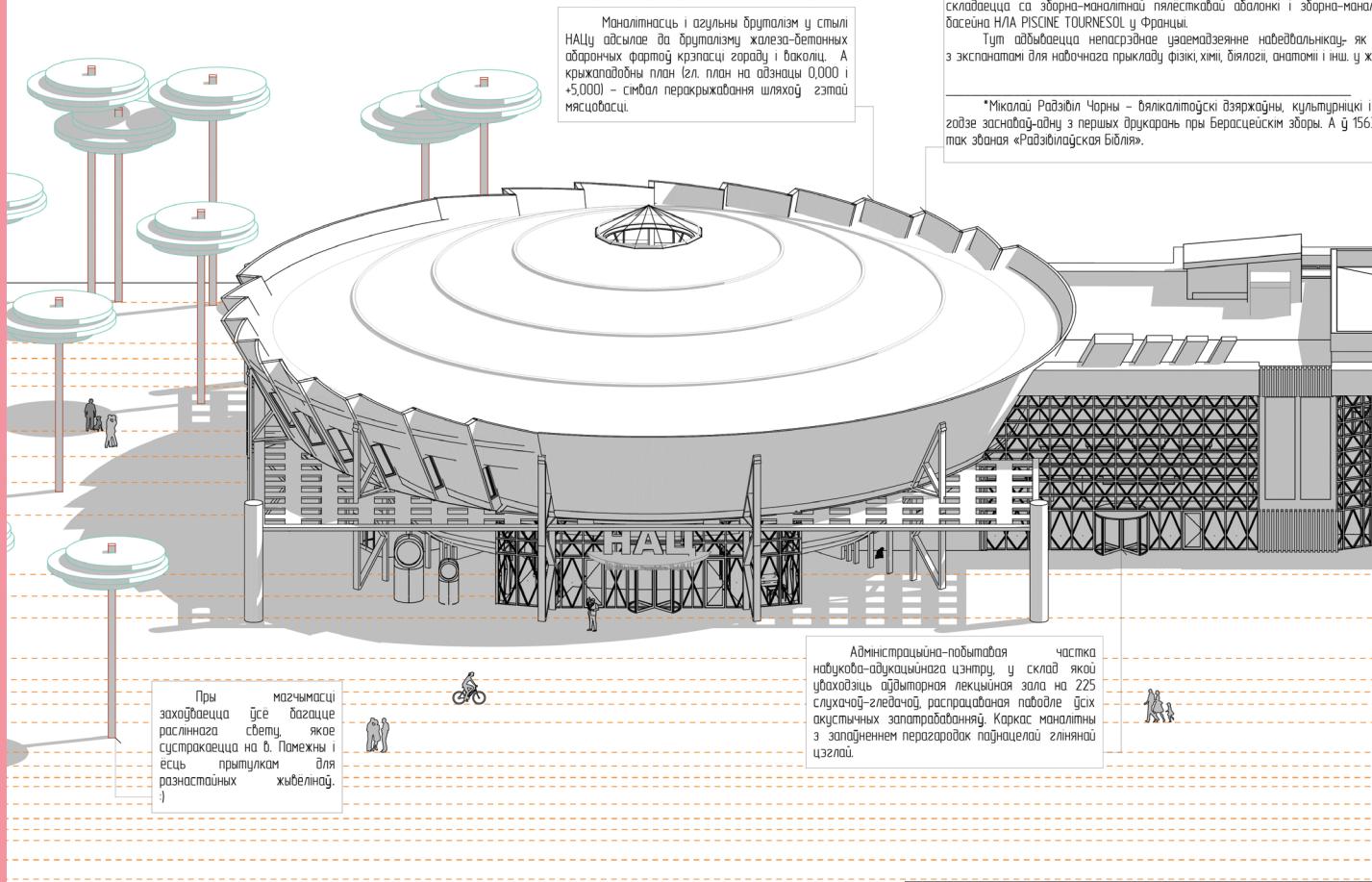
Яшчэ раней у мяне блукала думка пабудаваць на востраве транспамежнае ўтварэнне. Паводле прынцыпу дзяржавы ў дзяржаве. Каб трапіць туды, неабходны пашпарт. А заходзіць можна і з боку Беларусі, і з боку Польшчы. Адукацыя, навука, развіццё міжнацыянальных супольнасцяў - усё гэта можа быць магчымым. І гэта нездарма, бо калісці я вычытала ідэю, каб усё Берасце зрабіць транспамежным, то бок перамясяціць лінію мяжы ды замест падзелу Тэрэспалю і Берасця аперазаць іх мяжою для





далейшага зліцця ў адзін вялікі горад. (Дарэчы, вы ведалі, што ўжо з сёмага паверху ў Берасці можна пабачыць шпіль тэрэспальскага касцёлу?) Але цяпер гаворка трохі не пра гэта.

Калі цяпер востраў - гэта даволі засмечаная тэрыторыя з рэшткамі фартыфікацыйных забудоўваў і чатырма памежнікамі, то, згодна з майм планам, ён прыводзіцца ў актыўнае карыстаннне. Там утвораецца цэлае навуковае мястэчка - з інтэрнатамі для навукоўцаў, крамамі, бібліятэкаю, банкам, амфітэатрам, клубам, музеямі, інстытутам фізікі (а чаму не?) і ўласна навукова-адукацыйным цэнтрам.



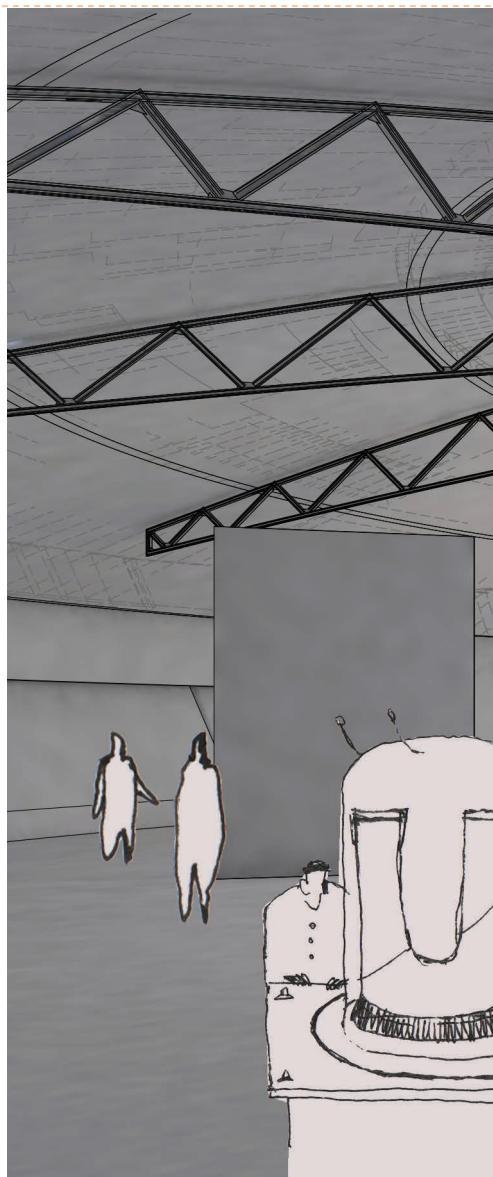
І што важна – без звыклых нам аўтамабіляў. А замест іх – ровары і міні-электракары як для гольфа. Праезды вялікае тэхнікі толькі для загрузу.

Планаванне гораду – даволі складанае заданне, таму пад аснову я ўзяла планаванне старожытнага Берасця (з архіўнае мапы 1815 года). Цяпер на цэнтральным востраве, то бок звыклай кожнаму берасцейцу Цытадэлі, месціцца мемарыяльны комплекс, якога дакладна не кранеш. Раней менавіта на гэтым месцы жыў і развіваўся стары горад. Каб хоць як аддаць даніну памяці загінуламу месту, я адлюстравала яго планаванне па лініі рэчышча ракі ды падкарэктавала пад існыя на востраве будынкі і рэльеф. Такі нібы магічны рытуал, звязаны з вадой. Як сказаў адзін добры архітэктар, «няма старожытных гарадоў, ёсць старожытныя вуліцы». Тут я адыду ад тэмы і падкрэслю гэты факт. Бо якраз калі звяртаецца увагу на планаванне старога гораду і забудоўваецца нават сучаснай архітэктурай, адчуванне старожытнасці можна захаваць. Тоэ, што мы так любім у Захадній Еўропе і чаго не стае ва Усходній, – вузкія вуліцы малапавярховая забудова.

Выставочная частка набукова-адукацийнага цэнтра імя Міколая складаецца з аздарно-манолітнай пляесткавай оболонкі і зборна-манолітнай дасейні H/LA PISCINE Tournesol у Францыі.

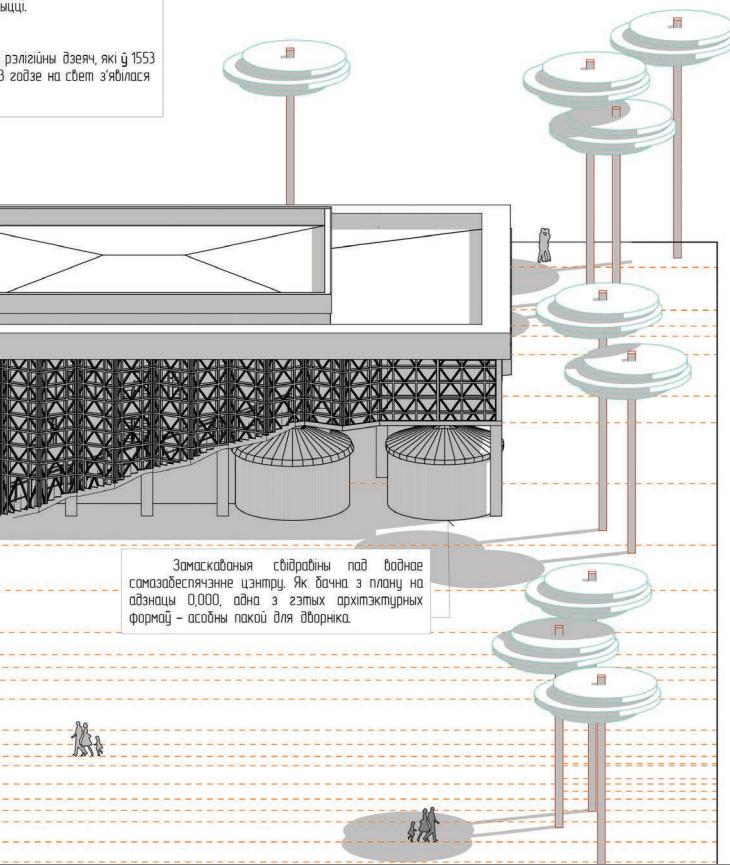
Тут адбывецца непасрэднае ўзаемадзеянне нафедальняніак-з экспонатамі для нафочнага прыкайду фізік, хімі, біялогі, анатомі і інш. у жыцці.

\*Міколай Радзівіл Чорны – вялікалітоўскі вэрхардзінік, культурнік і гісторык заснавальнік з першых друкованых пры Берасцейскім зборы. А ў 1567-м таго збора «Радзівіліўская біблія».



Радзібла Чорнага\*, якая  
ліпнага купала на ўзор  
дарослыkh, так і малых,  
ышч.

рэлігійны дзеяч, які ў 1553  
з гобе на свет з'яўліся



Падыходзячы да апісання беспасярэдне  
запраектаванага цэнтра, хочацца адзна-  
чыць наступнае:

- ▶ НАЦ месціца на скрыжаванні шля-  
ху дзвюх рэк, а таксама былое дарогі з  
Тэрэспалю на Берасце, у плане навуковы  
цэнтр таксама нагадвае крыж;
- ▶ масіўная круглая частка – выставачная  
зона і зона ўзаемадзеяння, а працяглая –  
зона аўдыторыі для лекцыяў і абмерка-  
ванняў ды адміністрацыйныя памяшканні;
- ▶ у зоне выставы таксама можна знайс-  
ці асобна вылучаныя плошчы пад  
лабараторыі і майстэрні, каб ужо падчас  
перабывання там ствараць навуковыя  
адкрыцці.

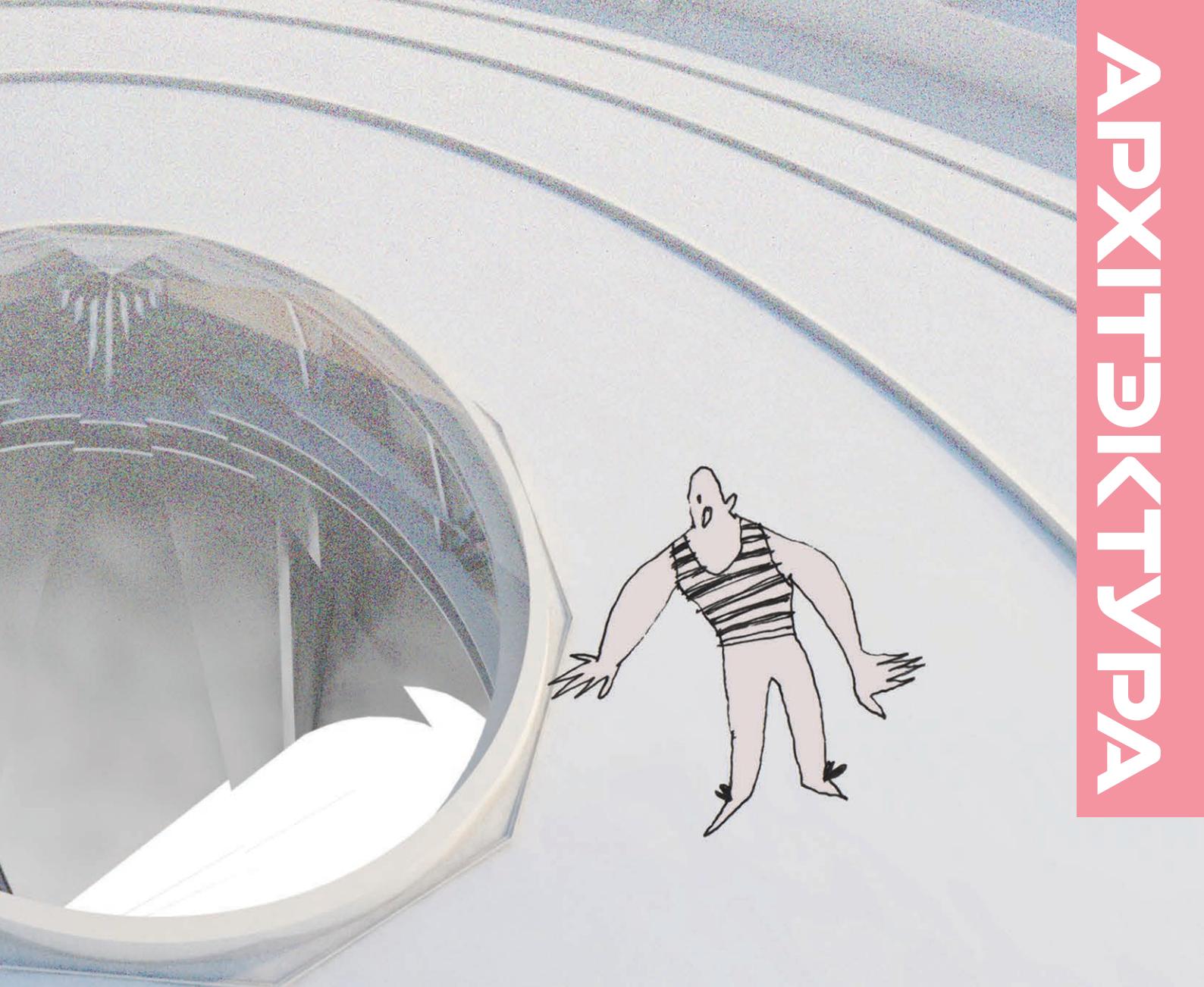
Рэмарка трэцяя. Гэта ўсё падобна да  
папяровага замку. Але кожная мара ўсё  
ж такі можа быць здзейсненая – у XXI  
стагоддзі жывём! Ці не так?



Калі ўсё  
ж такі раз-  
глядаць НАЦ  
звонку, то формай  
ён нагадвае чару,  
патопленую ў зям-  
лю – што, як не сімвал  
мудрасці і ведаў. Лесвіца  
з боку гэтак званае лекцый-  
нае часткі нібы лунае над зям-  
лём – узносіць да ведаў! Колеры  
даволі стрыманыя, за выключэн-  
нем акцэнтнага памяранцавага.

На ілюстрацыі ссярэдзіны можна  
пабачыць выставачную зону з экспаната-  
тамі. Толькі ўжо пытанне: хто там боль-  
шы экспанат? Там жа можна ўгледзець  
ілюмінатар у неба. Ці папросту окулюс.  
Нехта скажа, гэта замашкі на Пантэон, але  
чаго спрачацца. Тут адтуліна на даху  
закрытая шкляным купалам-пірамідаю.  
Каб сонечныя прамяні маглі загля-  
нуць у ваконца.





Калі быць шчыраю з сабою, не ўсё  
ўдалося. І, на добрае, трэба ачысціць  
аркуш і пачаць усё нанова, і так яшчэ  
не адзін раз. Але пакуль вам была прэ-  
зентаваная першая замалёўка на тэму  
«Навукова-адукацыйны цэнтр на востраве  
Памежны ў Берасці».

Зробім Беларусь *zaebis again!*

# ТЭРАПІЯ СПІНАЛЬНА- ЦЯГЛІЧНАЙ АТРАФІІ ДЫ ЯЕ ПЕРСПЕКТЫВЫ

Паліна В.

Ідэя і аўтарства ілюстрацыі  
KATYA TISHKEVICH



Спінальна-цяглічную атрафію (СЦА) называють найбольш частаю хваробаю сярод рэдкіх. Існуюць 4 тыпы СЦА. Пры больш цяжкіх першыя сімптомы з'яўляюцца ўжо ў 3-6 месяцаў: дзіцяці цяжка трывама галоўку, дыханне частае, а плач ціхі. Калі бацькі звяртаюцца да дактароў, дзіцяці робяць аналіз крыві, паводле якога вызначаюць: ген *SMN1*<sup>1</sup> мутаваны ці адсутнічае наагул. Выпрацоўванне неабходнага для выжывання бялку *SMN* у такім выпадку залежыць ад функцыянавання гену *SMN2*. Нястача гэтага бялку прыводзіць да разбурэння мотанейроні і паталагічнае слабасці цягліцаў. Асноўная смяротная пагроза пры СЦА – дыхальная нядатнасць, да таго ж жыццё пацыента неймаверна ўскладняецца праз немагчымасць самастойна сябе абслугоўваць.

Раней<sup>2</sup> на ўзровень клінічных даследаванняў вынеслі спробы павялічыць колькасць копіяў гену *SMN2* з дапамogaю гідроксікарбаміду. Таксама была надзея на нейрапратэктарную структуру алесаксім (*olesoxime*), што ўплывае на мітахондры. Аднак на сёння адзінай лекі, дазволеныя Кіраўніцтвам харчавання і медыкаментаў (FDA), – *Zolgensma, Spinraza i Evrysdi*. *Zolgensma (onasemtogene abeparvovec)* – гэта інавацыйны генназамяшчальны прэпарат. Ён уяўляе сабою рэкамбінантны адэнаасацыянавы вірусны (AAV) вектар, які не рэплікуеца. Ён утрымлівае відазмененую нуклеінавую кіслату, якая трапляе ў ядро мотанейрону чалавека і замяшчае страчаную праз мутацыю функцыю гену. Прэпарат здольны пранікнуць скрэз гематаэнцэфалічны бар’ер, пры гэтым не ўплывае на існуючу ДНК арганізму.

Эксперыменты<sup>3</sup> даказалі: крытычна важная хуткасць пачатку тэрапіі. Мотанейроны, што з кожным момантам страчвае арганізм, немагчыма аднавіць. Да таго ж гэтыя працэсы могуць пачацца нават да нараджэння дзіцяці.

Ін'екцыя *Zolgensma* каштую задорага – каля \$ 2,5 мільёна. Два іншыя прэпараты танныйшыя, але тэрапія імі пажыццёвая. У больш як 50 краінах свету, у тым ліку ў кожнай суседній з Беларуссю пацыент мае права атрымаць тэрапію задарма. У нашай краіне прэпараты таксама даступныя, але набыць іх магчыма толькі за асабістыя сродкі.

Галоўны прынцып тэрапіі СЦА – мультывектарнасць. Пратаколы<sup>4</sup> лекавання СЦА прадугледжваюць фізічную рэабілітацыю, рэспіраторнае падтрыманне,

тэхнічныя сродкі рэабілітацыі (вертыкалізатары, электракалыскі). Гэта дапамагае не толькі зрабіць тое, чаго не могуць ін'екцыі, то бок вярнуць страчаныя функцыі арганізму, але і дае шанец дачакацца ін'екцыі ўвогуле.

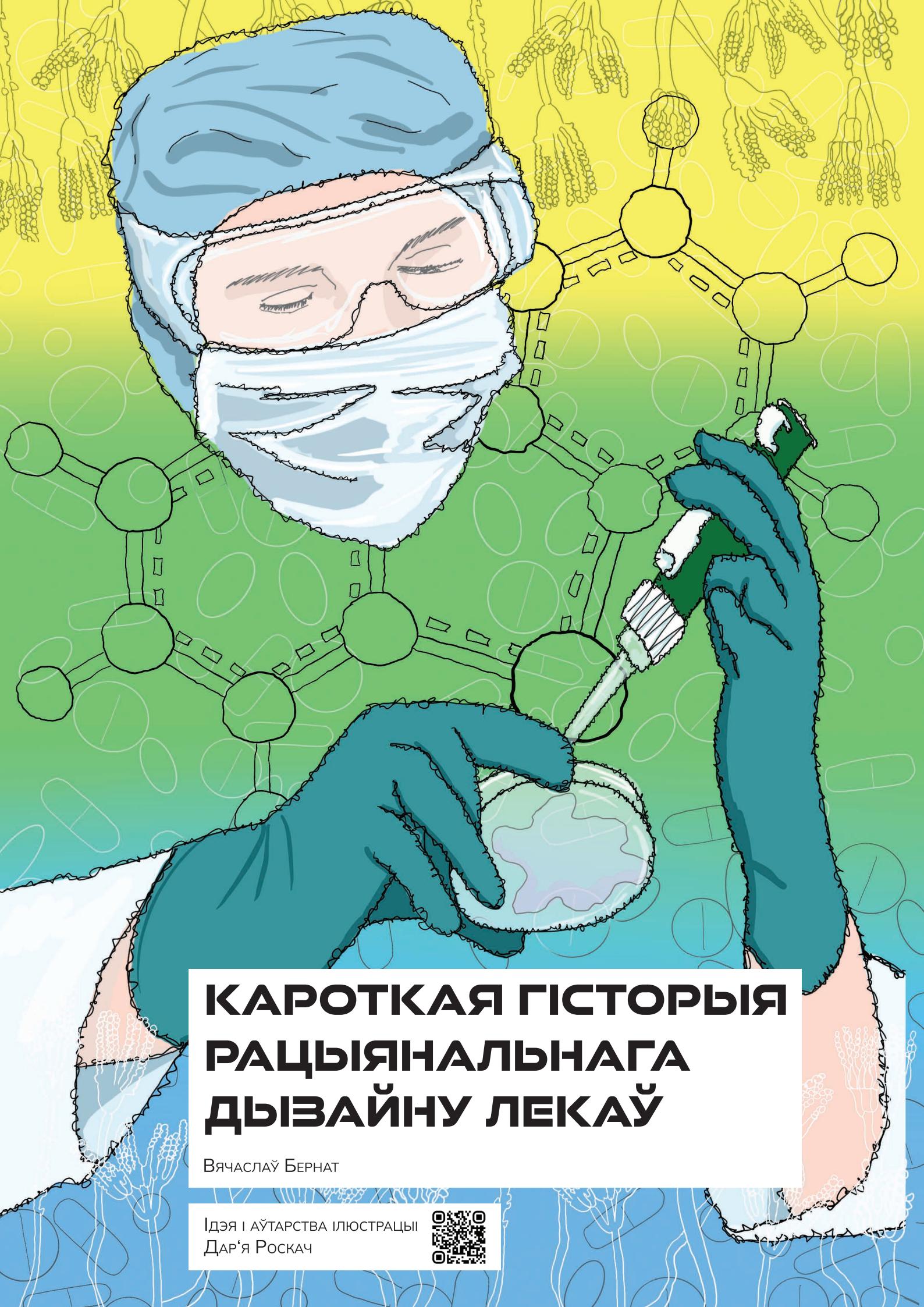
На жаль, у Беларусі на сёння сем' із СЦА могуць разлічваць толькі на сябе. Ім дапамагае некамерцыйная арганізацыя «Геном». Нярэдка адзінау надзеяй бацькоў забяспечыць нармальнае жыццё дзіцяці застаецца іншай краіне, зазвычай Польшча: сродкі на ін'екцыю ў Беларусі сабраць надзвычай складана.

Цяпер даследуюць яшчэ адзін перспектывы прэпарат для лекавання СЦА – монакланальная антыцела *apitegromab*<sup>5</sup>, якое блакуе актывацыю негатыўнага рэгулятара росту цягліцаў – міястатыну. Гэтае рэчыва можа ўплываць на абедзве формы проміястатыну. Пацыентаў, у якіх, не зважаючы на рост бялку *SMN*, захоўваецца дэфіцыт рухальных функцыяў, гэта можа ўратаваць. *Apitegromab* – на фінальных стадыях клінічных даследаванняў, да таго ж яго поспех выклікае інтарэс навукоўцаў да іншых інгібітараў міястатыну.

#### Крыніцы:

1. Kolb SJ, Kissel JT. Spinal Muscular Atrophy. Neurol Clin. 2015 Nov;33(4):831-46. doi: 10.1016/j.ncl.2015.07.004. PMID: 26515624; PMCID: PMC4628728.
2. Day JW, Howell K, Place A, Long K, Rossello J, Kertesz N, Nomikos G. Advances and limitations for the treatment of spinal muscular atrophy. BMC Pediatr. 2022 Nov 3;22(1):632. doi: 10.1186/s12887-022-03671-x. PMID: 36329412; PMCID: PMC9632131.
3. Schmid A, DiDonato CJ. Animal models of spinal muscular atrophy. J Child Neurol. 2007 Aug;22(8):1004-12. doi: 10.1177/0883073807305667. PMID: 17761656.
4. Eugenio Mercuri, Richard S. Finkel, Francesco Muntoni and others. Diagnosis and management of spinal muscular atrophy: Part 1: Recommendations for diagnosis, rehabilitation, orthopedic and nutritional care. 2018; 28(2): 103-115. doi: 10.1016/j.nmd.2017.11.005.
5. Barrett D, Bilic S, Chyung Y, Cote SM, Iarrobino R, Kacena K, Kalra A, Long K, Nomikos G, Place A, Still JG, Vrishabhendra L. A Randomized Phase 1 Safety, Pharmacokinetic and Pharmacodynamic Study of the Novel Myostatin Inhibitor Apitegromab (SRK-015): A Potential Treatment for Spinal Muscular Atrophy. Adv Ther. 2021 Jun;38(6):3203-3222. doi: 10.1007/s12325-021-01757-z. Epub 2021 May 8. PMID: 33963971; PMCID: PMC8189951.





# КАРОТКАЯ ГІСТОРЫЯ РАЦЫЯНАЛЬНАГА ДЪЗАЙНУ ЛЕКАЎ

Вячаслаў Бернат

Ідэя і аўтарства ілюстрацыі  
Дар'я Роскач



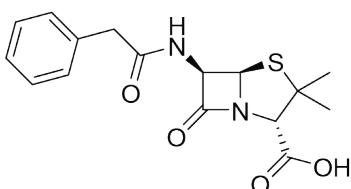
## I

Тое, што цяпер разумееца пад рацыянальнымі метадамі лекавага дызайну (*rational drug design*) – гэта працэс праектавання і распрацоўвання новых лекавых сродкаў, заснаваны на навуковым разуменні малекулярных механізмаў хваробы і ўздзеяння на іх біялагічна актыўных рэчываў<sup>1</sup>. Але гістарычна спачатку лекі вынаходзіліся выключна эмпірычным шляхам, то бок метадам пробаў і памылак, а часам і зусім выпадкова (па-ангельску кажучы, *serendipity*).

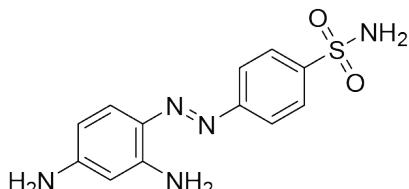
Напрыклад, шмат каму знаёма гісторыя адкрыцця пеніцыліну Александэрэм Флэмінгам (*Alexander Fleming*) з Шатландыі ў 1928-м. Паводле легенды, ён вывучаў стафілакок у сваёй лабараторыі. Аднойчы, вярнуўшыся з адпачынку, заўважыў, што ў шалях Пэтры з калоніямі бактэрыяў завялася плесня. Яна не дала калоніям стафілакоку разрасціся – з яе і быў упершыню вылучаны **пеніцылін**<sup>2</sup>. Яшчэ адзін ранні антыбіётык – прантасіл (1932) – наагул першапачаткова распрацоўваўся як цёмна-чырвоны фарбавальнік (мал. 1а). Але ўжо ў XIX стагоддзі



### Раннія антыбіётыкі



Фенілпеніцылін  
(1928)



Прантасіл  
(1932)

Малюнак 1а

існавалі збольшага сістэмазаваныя метады скрынінгу (адбор, сартаванне) прыродных і сінтэтычных злучэнняў на карысную біялагічную актыўнасць. Гэтак, напрыклад, у 1886 годзе ў вельмі простага арганічнага рэчыва – ацэтаніліду – заўважылі гарачкапаніжальную і болесуцішальную ўласцівасці. Ужо ў наступным, 1887 годзе *Bayer* выпусціў на рынак яго блізкі хімічны, але менш таксічны аналог – фенацэін. Дзякуючы ў тым ліку яму *Bayer* і стаўся адною з асноўных фармацэўтычных кампаній свету. А ў 1893-м у мачы пацыентаў, якія прымалі фенацэін, знайшлі яго метабаліт – ацэтамінафен,

больш вядомы нам як **парацэтамол** (мал. 1а). Але ў той час разуменне механізмаў дзеяння лекаў пакідала жадаць лепшага. Парацэтамол памылкова палічылі небяспечным, ён быў забыты больш як на пайстагоддзя і з'явіўся ў продажы ў выглядзе лекаў толькі ў 1955-м<sup>3</sup>.

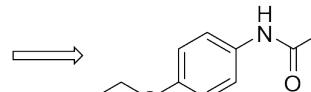
Затое іншы славуты супрацьзапаленчы прэпарат – **аспірын** (ацэтыльсаліцылавая кіслата) – быў атрыманы Фэліксам Гофманам (*Felix Hoffmann*) з таго ж *Bayer* у 1897 годзе шляхам ацэтылявання саліцылавае кіслаты – прыроднага злучэння, вылучанага з вярбовае кары (мал. 1б).



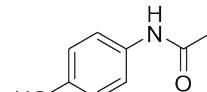
### Эвалюцыя парацэтамолу і ацэтыляванне



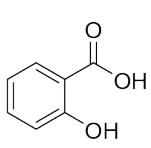
Ацэтанілід  
(1886)



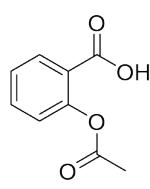
Фенацэін  
(1887)



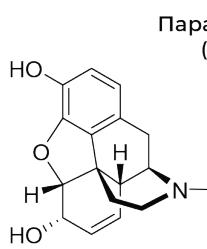
Парацэтамол  
(1955)



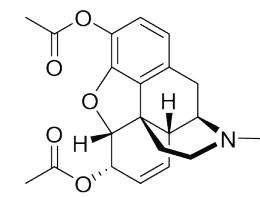
Саліцылавая  
кіслата



Аспірын  
(1897)



Марфін



Гераін  
(1897)

Малюнак 1б

Прычым ацэтыляванне было абранае таксама не выпадкова, а з мэтаю знізіць пабочныя эфекты<sup>4</sup>, падобна да вышэй згаданага ацэтаніліду. Так што ўжо ў канцы XIX стагоддзя можна казаць пра нейкі протарацыянальны падыход да распрацоўвання лекаў.

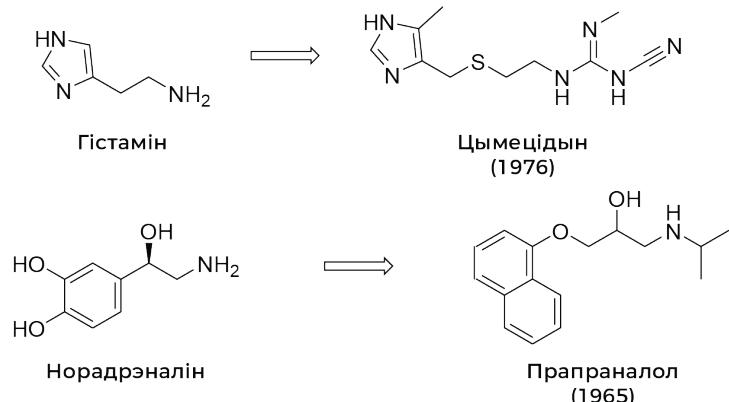
Але такія прымітыўныя - на сучасныя меркі - падыходы, як ацэтыляванне прыродных злучэнняў з мэтаю дасягнучы нейкага тэрапеўтычнага эфекту, часам прыводзілі да зусім адваротных і непажаданых наступстваў. Гэтак, праз ацэтыляванне прыроднага марфіну той жа Гофман у 1897 годзе - 11 дзён пасля сінтэзу аспірыну - вынайшаў звышэфектуўны сродак супраць кашлю - дыяцэтылмарфін. Ён, насуперак чаканням, аказаўся нават больш актыўны за марфін і таму атрымаў пафасную назыву - **герайн** (мал. 1б). Аднак хутка высветлілася, што ён больш актыўны за марфін не толькі ў

супрацькашлевым дзеянні, але і ў выкліканні прывыкання ды фармакалаўгічнае залежнасці<sup>5</sup>.

Гэтак, ні пра якое разуменне механізмаў дзеяння лекаў (у сучасным сэнсе) гаворкі ў той час не ішло, бо клеткавая біялогія і біяхімія былі яшчэ ў зародковым стане. Але відавочна, што навукоўцы пачалі разумець: хімічная структура лекавых рэчываў неяк звязаная з іх тэрапеўтычным эфектам.

Усю першую палову ці нават дзве трэціны XX стагоддзя адкрыццё новых лекаў кіравалася збольшага тымі ж прынцыпамі, што і ў канцы XIX стагоддзя. Як правіла, лекі падобнага тэрапеўтычнага дзеяння былі падобныя і хімічнаю структурай. І шмат якія лекі былі падобныя да прыродных злучэнняў, бо апошнія заставаліся іх галоўнаю кропніцю.

### Дызайн цыметідыну і прапралону



Малюнак 2а

### II

Адным з першых прыкладаў рацыянальнага дызайну лекаў у сучасным сэнсе быў цыметідын (камерцыяная назва - *Tagamet*, мал. 2а) - інгібітар выпрацоўвання кіслаты ў страўніку. Гэта першы ў свеце прэпарат, які прынёс фармацэўтычнай кампаніі прыбытак больш за \$ 1 млрд. Такія лекі цяпер называюць блакастэрэмі. Цыметідын быў распрацаўваны ў 1971 годзе навукоўцам брытанскага кампаніі *Smith, Kline and French* (сёння - GSK plc) і выйшаў на рынак у 1976-м. У аснове яго дызайну ляжала наступная логіка. Было вядома, што гістамін выклікае вылучэнне страўнікавага соку. Меркавалася, што гістамін робіць гэта праз узаемадзеянне з нейкімі спецыяльнымі бялкамі-рэцептарамі,

а менавіта актывуе іх ці, інакш кажучы, выступае іх аганістам (тэорыю рэцептараў ужо да таго часу сформулявалі Пауль Эрліх (*Paul Ehrlich*) і Джон Лэнглі (*John Langley*)<sup>6</sup>. Да таго ж з пачатку 1930-х ужо былі вядомыя рэчывы, якія антаганізуюць (блакуюць) дзеянне гістаміну, з якіх пазней, у 1940-х, з'явіліся першыя антыгістаміnavыя супрацьалергенныя лекі (антэрган, дыфенгідрамін ды інш.)<sup>7</sup>. Але яны не зніжалі вылучэння кіслаты страўнікам. Адсюль вынікала, што існуюць прынамі два тыпы гістаміnavых рэцептараў - абодва актывуюцца гістамінам, але вядомыя антыгістаміны блакуюць толькі адзін тып (яго потым гэтак і назвалі - H<sub>1</sub>). Таму шукаць лекі для страўніка, адштурхоўваючыся ад структуры супрацьалергенных антыгістаміnavых лекаў, не мела сэнсу. Адзінаю хімічнаю

зачәпкау для навукоуцау быў сам гістамін, бо ён на 100 % звязваецца са сваймі рэцэптарамі. Змяняючы па чарзе адну за адною функцыйныя группы ў структуры гістаміну, хімікам удалось стварыць аналагі, якія звязваліся з рэцэптарамі мацней за гістамін, але ўжо не мелі яго фармакалагічнага дзеяння. Яны не актывавалі рэцэптараў. Тым самым не давалі гістаміну трапіць у актыўны цэнтр, каб актываваць вылучэнне кіслаты. Сёння такі механізм дзеяння называецца артастэрыйчным антаганізмам (альбо ў некоторых спецыяльных выпадках – артастэрыйчным адваротным аганізмам, але пакуль не будзем паглыбляцца ў фармакалагічную трусынную нару). У выніку паслядоўных зменаў структуры і вынайшлі цымекідын, які пазбавіў мільёны пацыентаў з язвую страйніка неабходнасці ў хірургічнай аперацыі<sup>8</sup>. Новы тып гістаміновых рэцэптараў, які блакаваўся цымекідым і падобнымі рэчывамі, назвалі  $H_2$ <sup>9</sup>. Пазней былі адкрытыя і  $H_3$ , і  $H_4$ -гістаміновыя рэцэптары – у 1983<sup>10</sup> і 2000<sup>11</sup> гадах адпаведна.

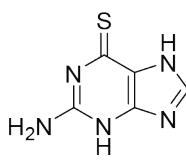
Навуковаю групай, якая вынайшла цы-  
мецідын, кіравалі Джэймз Блэк (*James  
Black*) і Робін Гэнэлін (*Robin Ganellin*).  
Раней Блэк таксама прыклаў руку да рас-  
спрацоўвання прапраналолу – бэта-бла-  
катара (інгібітара  $\beta_1$  і  $\beta_2$  адэрэналінавых  
рэцэптараў, мал. 2а). У 1988-м Блэк разам  
з Гертрудэ Элаён (*Gertrude Elion*) і Джор-  
джам Гітчынгсам (*George Hitchings*) былі

ўшанаваныя Нобэлеўскаю прэміяй у галіне фізіялогіі ды медыцины за адкрыццё прынцыпаў распрацоўвання новых лекаў<sup>12</sup>.

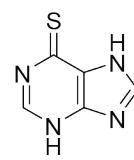
Іншымі прикладамі ранняга рацыонального дызайну лекаў можна лічыць супрацьвірусныя прэпараты АЗТ (зідавудзін, першы прэпарат супраць ВІЧу) і ациклавір (супраць герпесу), імунасупрэсант азатыапрын (усе троі распрацаваныя з удзелам Г. Элаён<sup>13</sup>), інгібітары ангіятэнзінператваральнага ферменту (АПФ) для барацьбы з гіпертэнзіяй: алацэпрыл, каптапрыл і зафенапрыл, прэпараты для лячэння лейкеміі 6-меркаптапурын і тыягуанін, супрацьмалярыйны піраметамін, алапурынол супраць казінцу (падагры) ды інш. (мал. 26)

Гэтыя прэпараты можна лічыць першым пакаленнем рацыянальна распрацаваных лекаў. Рэч у тым, што ўва ўсіх гэтых выпадках зыходным пунктам для дызайну былі адпаведныя біялагічныя малыя малекулы, якія ёсць актываторамі рэцэптараў, каферментамі ці субстратамі для ферментатыўных рэакцыяў. Напрыклад, дызайн супрацьвірусных і супрацьракавых прэпаратава часта пачынаўся з структуры азоцістых асноваў нуклеінавых кіслотаў і нуклеаідаў, якія выкарыстоўваюцца для сінтезу ДНК і РНК адмысловымі ферментамі; бета-блакатарапаў - з норадрэналіну; інгібітараў АПФ - з яго натуральнага інгібітара

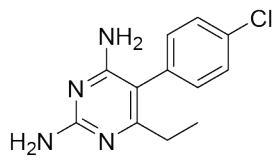
## Прыклады лекаў, распрацаваных на аснове азоцістых асноваў нуклеінавых кіслотаў



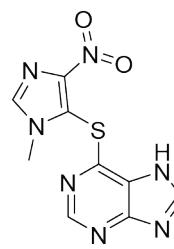
## Тыягуанін (1951)



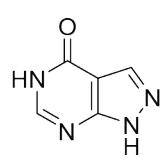
## 6-Меркаптапурын (1953)



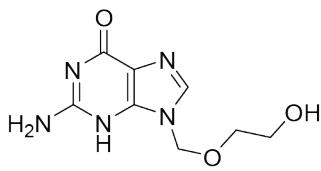
## Піраметамін (1953)



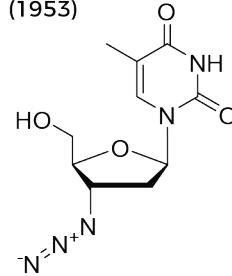
Азатыапрын  
(1957)



## Алапурынол (1966)



Ацыклавір  
(1981)



A3T  
(1987)

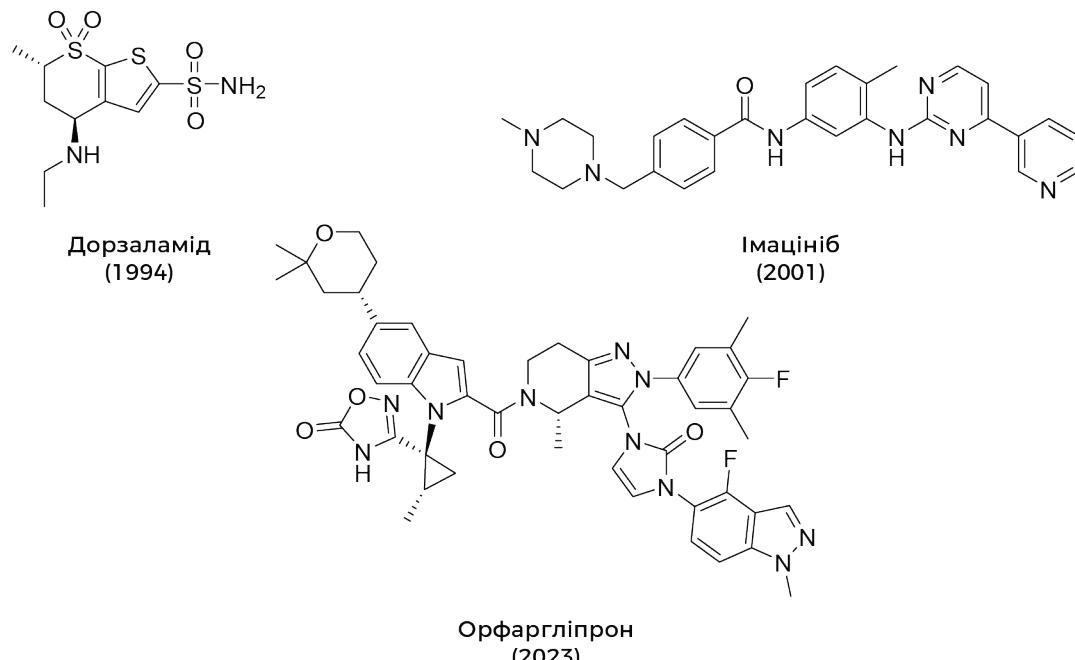
тэпратыду, вылучанага са змяінага яду<sup>14</sup> і г. д. Метады структурнага аналізу, якія існавалі ў той час, яшчэ не дазвалялі вызначаць трохмернае структуры біялагічных мішэніяў. Але біяхімічныя ланцужкі і ферменты, якія ў іх бяруць уздел, ужо ўмелі вызначаць і вывучаць. Таму лагічна было выкарыстоўваць структуру вядомых малекулаў, якія звязваюцца з мішэніямі, якія негатыўныя структуры біямалекулаў-мішэніяў.

Дарэчы, тэрмін малыя малекулы (*small molecules*) – агульнаўжываная навуковая назва любых малекулаў з малекулярнаю масаю менш за 1000 атамных адзінак<sup>15</sup>. Як правіла, яна ўжываецца ў кантэксце біялагічна актыўных малекулаў, каб адрозніць іх ад больш буйных біяпамераў (поліпептыдаў, ДНК, РНК і да іх падобных сінтэтычных аналагоў).

З аналізу звестак, атрыманых у выніку соцен্য такіх праграмаў для распрацоўвання лекаў, нарадзілася новая дысцыпліна – медычная хімія<sup>16</sup>. У агульных рысах яна вывучае – вылучае і сістэмазызе – тыя рацыянальныя прынцыпы, кіруючыяся якімі можна распрацоўваць рэчывы з зададзенымі фармакалагічнымі ўласцівасцямі. Якія функцыянальныя групы могуць замяніць адну ў біялагічным плане, якіх варта пазбягаць і чаму, як дасягнуць патрэбнае біядыягальнасці, ліпафільнасці, паменшыць таксічнасць? На гэтыя ды іншыя пытанні спрабуе адказаць медычная хімія. І хоць эмпірычны перабор розных варыянтаў (хімічных групаў) дасюль застаецца вялікаю часткаю працы медычных хімікаў, прынамсі ў іх ёсьць прынцыпы, якія скіроўваюць іхны крэатыв.



### Прыклады малекулаў, распрацаваных праз структурны дизайн



Малюнак 3

### III

Пазней, недзе да 1990-х гадоў, вельмі істотна развіліся метады рэнтгенаструктурнага аналізу біялкоў (крышталляграфія), у 2000-х – шматмерная спектраскалія ядравага магнітнага рэзанансу (ЯМР) біямалекулаў, а ў 2010-х – электронная крыямікраскалія. Гэтыя метады, у спалученні з камп'ютарным мадэльваннем, вывелі рацыянальныя дызайн лекаў на

новы ўзровень. Цяпер, вызначыўшы трохмерную структуру патрэбнае мішэні, навукоўцам зрабілася магчыма зусім не звяртаць увагі на структуру малых біямалекулаў (лігандаў), якія з імі звязваюцца (гл., напрыклад, орафаргліпрон, мал. 3). У прынцыпе стала магчымым нават змяніць (мадуляваць) – актываваць альбо блакаваць – функцыю мішэніяў, у якіх увогуле няма ўласных лігандаў ці яны дасюль невядомыя. Альбо нацэльваць

малыя малекулы на тыя часткі бялкоў, якія не звязваюцца непасрэдна з натуральнымі (эндагенныімі) лігандамі – г. зв. аластэрычнае мадуляванне. Усе гэтыя магчымасці прывялі да распайсоду ў навуковым асяродку структурнага падыходу да дызайну лекаў (*structure-based drug design*)<sup>1</sup>.

Першым прыкладам прэпарату, распрацаванага дзякуючы 3D-структуры мішэні, быў інгібітар карбаангідразы дорзала-мід (ухвалены да выкарыстання супраць глаўкомы ў 1994 годзе, мал. 3)<sup>17</sup>. Іншымі раннімі прыкладамі структурнага дызайну сталіся інгібітары пратэазы ВІЧ (сак-вінавір, індынавір, рытанавір і нелфінавір зарэгістраваны ў 1995, 1996, 1996 і 1997 гадах) і супрацьпухлінавы прэпарат іматыніб (*Glivec*, ухвалены ў 2001 годзе, мал. 3). Іматыніб быў першым супрацьракавым прэпаратам, які не проста атакаваў клеткі, якія хутка дзеляцца, а спецыфічна звязваўся з групою тыразінкіназ, што актывуеца ў ракавых клетках з пэўнаю мутацыяй (утрымліваў гэтак званую філадэльфійскую храмасому)<sup>18</sup>. Пра амаль паўвекавую гісторыю з часу адкрыцця гэтае мутацыі да стварэння *Glivec* Джэсіка Ўарнер (Jessica Wapner) і Робэрт Ўайнберг (Robert Weinberg) напісалі книгу *The Philadelphia Chromosome: A Mutant Gene and the Quest to Cure Cancer at the Genetic Level*. Яшчэ адна драматычная гісторыя піянераў структурнага рацыянальнага дызайну лекаў адлюстраваная ў кнізе *The Billion Dollar Molecule* Бэрты Ўэрта (Barry Werth).

Аднак, нягледзячы на апісанас вишэй актыўнае развіццё медычнае хіміі ды іншых каляфармацэўтычных дысцыплінаў, росквітам фармацэўтычнай індустріі доўга лічыліся 1990-ыя. У 1996 годзе ў ЗША зарэгістравалі незвычайна вялікую колькасць прынцыпова новых лекаў – 53. Пазней гэты лік споўз да больш звычных 20-30 новых лекаў за год і заставаўся такім да 2010-х. Шмат артыкулаў было напісаны ў спробах патумачыць гэты феномен: як пры развіцці ўсіх галінаў навукі і росце інвестыцыяў у даследаванні і распрацоўванні хуткасць адкрыцця прынцыпова новых лекаў стагнуе?<sup>19-21</sup> Няма сэнсу пералічваць усе фактары, але адным з іх дакладна была абмежаванасць тыпаў бялагічных мішэніў, на якія нацэльваліся стваральнікі новых прэпаратуў, і фармакалагічных механізмаў узаемадзеяння з імі.

Усе традыцыйныя бялагічныя мішэні можна аднесці да аднаго з наступных класаў<sup>22</sup>.

- ▶ Рэцэптары, спалучаныя з G-бялком (*G protein coupled receptors, GPCR*); ~ 50 % усіх лекаў нацэльваюцца на іх.
- ▶ Ферменты (энзімы): бялковыя кіназы, пратэазы, эстэразы, фасфатазы і г. д.
- ▶ Іонныя каналы.
- ▶ Ядравыя рэцэптары (мішэні для гарманаў і стэроідных лекаў).
- ▶ Структурныя бялкі (тубулін).
- ▶ Мембранныя транспартавыя бялкі.
- ▶ ДНК.

Паводле тыпу ўзаемадзеяння з мішэнямі лекі падзяляюць на **аганісты** (умыкаюць функцыю сваіх мішэняў) і **антаганісты** (блакуюць функцыю – такіх лекаў большасць). Безумоўна, вылучаюць мноства больш вытанчаных тыпаў і аспектаў фармакалагічнага дзеяння (адваротны аганізм, супераганізм, процьма варыянтаў аластэрычнага ўзаемадзеяння і г. д.). Але можна абмежавацца двумя вялікімі класамі – аганістамі і антаганістамі. Атрымліваецца, што нават з адкрыццём новых механізмаў працякання хваробы ў навукоўцаў быў адносна невялікі выбор, на якія мішэні можна скіраваць выслікі ў распрацоўванні лекаў і што з гэтымі мішэнямі ўласна можна зрабіць. У літаратуры нават з'явіўся тэрмін **лекаваная мішень** (*druggable target*) – мішень, для якой увогуле магчыма стварыць ліганд, які можа зрабіцца лекавым сродкам. Але сама разуменне, якая мішень лекаваная, а якая не, натуральна, засноўвалася на вядомых прынцыпах стварэння лекаў – таго самога рацыянальнага дызайну. Гэтак, метады, якія забяспечылі поспех фармацэўтычных кампаніяў у 1990-ыя, з цягам часу сталі вычэрпваць свае магчымасці (эффект пладоў, што нізка вісяць) і нават тармазіць інавацыйнасць цэлае галіны<sup>19-21</sup>.

Але з 2011-га колькасць ухваленых лекаў за год у ЗША стала зноў расці і ў 2018-м дасягнула рэкордных 59. Гэта стала магчымым у тым ліку дзякуючы прынцыпова новым падыходам у распрацоўванні лекавых сродкаў: укараненню ў практику новых хімічных тыпаў, новых механізмаў узаемадзеяння з мішэнямі і адпаведнаму пашырэнню спектру самых мішэняў. За кошт чаго з'явіліся гэтыя навінкі, я напішу наступным разам.

## Спасылкі:

1. Drug Design. Wikipedia; 2023.
2. Alexander Fleming Discovery and Development of Penicillin - Landmark. American Chemical Society. <https://www.acs.org/education/whatischemistry/landmarks/flemingpenicillin.html> (accessed 2023-08-24).
3. Brune, K.; Renner, B.; Tiegs, G. Acetaminophen/Paracetamol: A History of Errors, Failures and False Decisions: 130 Years of Aniline Analgesics. *Eur. J. Pain* 2015, 19 (7), 953–965. <https://doi.org/10.1002/ejp.621>.
4. Sneader, W. The Discovery of Aspirin: A Reappraisal. *BMJ* 2000, 321 (7276), 1591–1594.
5. Heroin. Wikipedia; 2023.
6. Receptor Theory. Wikipedia; 2023.
7. Antihistamine. Wikipedia; 2023.
8. Tagamet Discovery of Histamine H<sub>2</sub>-receptor Antagonists - Landmark. American Chemical Society. <https://www.acs.org/education/whatischemistry/landmarks/cimetidinetagamet.html> (accessed 2023-08-24).
9. Black, J. W.; Duncan, W. A.; Durant, C. J.; Ganellin, C. R.; Parsons, E. M. Definition and Antagonism of Histamine H<sub>2</sub>-Receptors. *Nature* 1972, 236 (5347), 385–390. <https://doi.org/10.1038/236385a0>.
10. Arrang, J.-M.; Garbarg, M.; Schwartz, J.-C. Auto-Inhibition of Brain Histamine Release Mediated by a Novel Class (H<sub>3</sub>) of Histamine Receptor. *Nature* 1983, 302 (5911), 832–837. <https://doi.org/10.1038/302832a0>.
11. Oda, T.; Morikawa, N.; Saito, Y.; Masuho, Y.; Matsumoto, S. Molecular Cloning and Characterization of a Novel Type of Histamine Receptor Preferentially Expressed in Leukocytes \*. *J. Biol. Chem.* 2000, 275 (47), 36781–36786. <https://doi.org/10.1074/jbc.M006480200>.
12. The Nobel Prize in Physiology or Medicine 1988. NobelPrize.org. <https://www.nobelprize.org/prizes/medicine/1988/summary/> (accessed 2023-08-24).
13. The Nobel Prize | Women who changed science | Gertrude Elion. <https://www.nobelprize.org/womenwhochangedscience/stories/gertrude-elion> (accessed 2023-08-24).
14. Teprotide. Wikipedia; 2023.
15. Small Molecule. Wikipedia; 2023.
16. Medicinal Chemistry. Wikipedia; 2023.
17. Dorzolamide. Wikipedia; 2022.
18. Iqbal, N.; Iqbal, N. Imatinib: A Breakthrough of Targeted Therapy in Cancer. *Chemother. Res. Pract.* 2014, 2014, 357027. <https://doi.org/10.1155/2014/357027>.
19. Advice for Future Pharma Scientists: Start Small. <https://www.science.org/content/article/advice-future-pharma-scientists-start-small> (accessed 2023-08-24).
20. Drug R&D Spending Now Down (But Look at the History). <https://www.science.org/content/blog-post/drug-r-d-spending-now-down-look-history> (accessed 2023-08-24).
21. Too Many Metrics. <https://www.science.org/content/blog-post/too-many-metrics> (accessed 2023-08-24).
22. Biological Target. Wikipedia; 2023.



# ГЛЫБАКА ВОДНЫЯ ПЛЫІНІ і ПАДВОДНЫЯ ПУСТЭЛЬНІ

Надзея Шымбалёва

Ідэя і аўтарства ілюстрацыі  
Сім



Думаю, некаторыя з вас помніаць захапляльную лекцыю геаграфії ў школе, на якой ваш настаўнік расказваў пра акіянічныя плыні, якія бесперапынку цыркулююць ува ўсіх пяці акіянах, перамяшчаючы велізарныя водныя масы ў розных кірунках. Вам таксама маглі расказаць, што плыні бываюць цёплыя, а бываюць халодныя, а далей вы павінны быті вывучыць 15-20 асноўных плыні, вядомых чалавеку (спойлер: іх значна больш). Найчасцей на гэтым усе нашыя базавыя веды пра акіянічныя плыні заканчваюцца, і мала хто здагадваецца, як шмат незвычайных рэчаў тоіць у сабе гэтая прыродная з'ява.

Сёння навукоўцам дакладна вядома, што глабальная акіянічная цыркуляцыя існуе за кошт не аднаго, а двух асноўных кампанентаў: **ветравая цыркуляцыя**, што стварае паверхневыя плыні (тыя са школьнай праграмы), а таксама **глыбакаводная тэрмахалінная цыркуляцыя**, якая без якой-кольківек дапамогі ветру ўмудраеца рухаць велізарныя масы вады ўва ўсіх акіянах планеты, ствараючы падводныя плыні нават на глыбіні 3-6 км (пасправайце ўявіць). Цікава, што ветравая цыркуляцыя ўплывае толькі на 10% агульнага аб'ёму вады акіяну, а вось глыбакаводная плыні рухаюць астатнія 90%.

Акрамя асноўных глыбакаводных плыні, існуюць дзясяткі і сотні драбнейшых акіянічных працэсаў, што ўзнікаюць за кошт розных фізічна-хімічных зменаў у тоўшчы вады. Нам вядома, што пад вадой існуюць свае **цунамі, падводныя хвалі, глыбакаводныя штормы, гіганцкія віры, падводныя вадаспады, дробныя і буйныя віхуры, падводныя прылівы, цыклонныя хвалі і г. д.** - і ўсё гэта ў значайнай ступені фармуе марфалогію марскога дна, а таксама ўплывае на нашае з вамі жыццё, змяняючы клімат. Пры гэтым у адным пункце прасторы можа ўзнікаць некалькі такіх працэсаў адначасова, сутыкаючыся адзін з адным ці змяняючы адзін аднаго ў залежнасці ад дзённых цыклau, прыліваў і адліваў, пары году ды іншых прыродных працэсаў.

І калі пра існаванне паверхневых плыні, абумоўленых дзейнасцю ветру, было вядома яшчэ старожытным мараплаўцам, то ўсё, што мы ведаем пра глыбакаводныя плыні, было адкрыта зусім нядаўна. Першыя сведчанні пра плыні, што праходзяць на глыбінях 3-6 км уздоўж марскога дна, быті атрыманыя ўсяго з 80 гадоў таму, прыблізна ў той час,

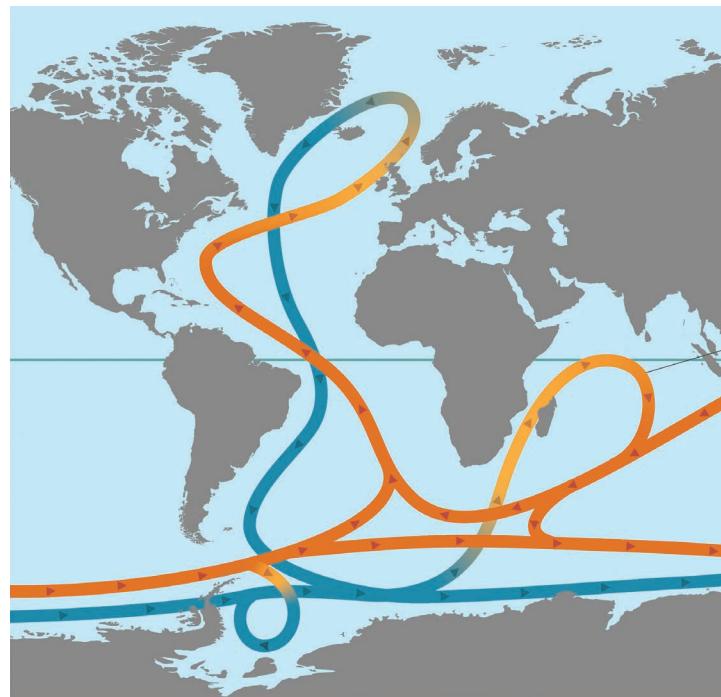
калі толькі нарадзіліся нашыя дзядулі і бабулі. Сапраўды, пра ўсё, што звязана з глыбакаводнымі часткамі Сусветнага акіяну, дзе свято ўжо не пракрадаецца праз тоўшчу вады, у вельмі цяжкадаступных умовах, навуковыя даследаванні развіваюцца даволі павольна.

Сёння навукоўцаў па-ранейшаму хвалюе мноства пытанняў. Якім чынам падводныя плыні ўплываюць на марское дно? Наколькі яны хуткі і ад чаго залежыць хуткасць? Яны такія ж моцныя, як вецер, што дзыме нам у твар, ці значна слабейшыя? Як яны сябе паводзяць і як уплываюць на марскія арганізмы? Куды цякуць, у якіх кірунках і чаму? Яны заўсёды стабільныя ці змяняюць свае паводзіны? А саме галоўнае - як уплываюць на нашае з вамі жыццё? У артыкуле мы паспрабуем адказаць на гэтыя пытанні, грунтуючыся на інфармацыі, якою валодае сучасная навука. Але калі раптам нехта з маладых навукоўцаў шукае галіну, дзе ўсё яшчэ засталася велізарная прастора для новых адкрыццяў, - магчыма, гэта менавіта тое, што вы шукалі.

### Якія бываюць глыбакаводныя плыні?

Дык што ж такое глыбакаводная тэрмачалінная цыркуляцыя, як яна ўплывае на геалагічную будову марскога дна і саме галоўнае - якія сілы здольныя

### Прыблізныя схемы тэрмачаліннае цыркуляцыі



Малюнак 1а

прымусіць рухацца водныя масы без дапамогі ветру? Гэты тып цыркуляцыі часта называюць **акіянічным канвеерам** (анг. ocean conveyor belt). Прыметнік тэрмахалінны складаецца з дзвюх частак: тэрма – тэмпература, халін – салёнасць. Механізм яе досыць просты: калі салёнасць ці тэмпература воднае масы змяняеца – змяняеца яе шчыльнасць: з павышэннем тэмпературы вады шчыльнасць змяншаецца (адваротная залежнасць), а з павелічэннем салёнасці – шчыльнасць вады павялічваецца (простая залежнасць). Калі дзве водныя масы з рознаю шчыльнасцю ўступаюць у контакт, шчыльнейшая водная маса выцясняе і падпірае меней шчыльную. Уявіце сабе вядро, падзеленае вертыкальнаю перагародкаю, напоўніце адну палову марскую вадой, другую – прэнсаю, а потым зніміце перагародку. Шчыльная салёная вада апускаецца на дно вядра і падніме меней шчыльную прэнсную ваду. Гэты працэс і ўяўляе сабою тэрмахалінную цыркуляцыю.

Коротка канвеерную мадэль Сусветнага акіяну можна апісаць за некалькі этапаў (мал. 1).

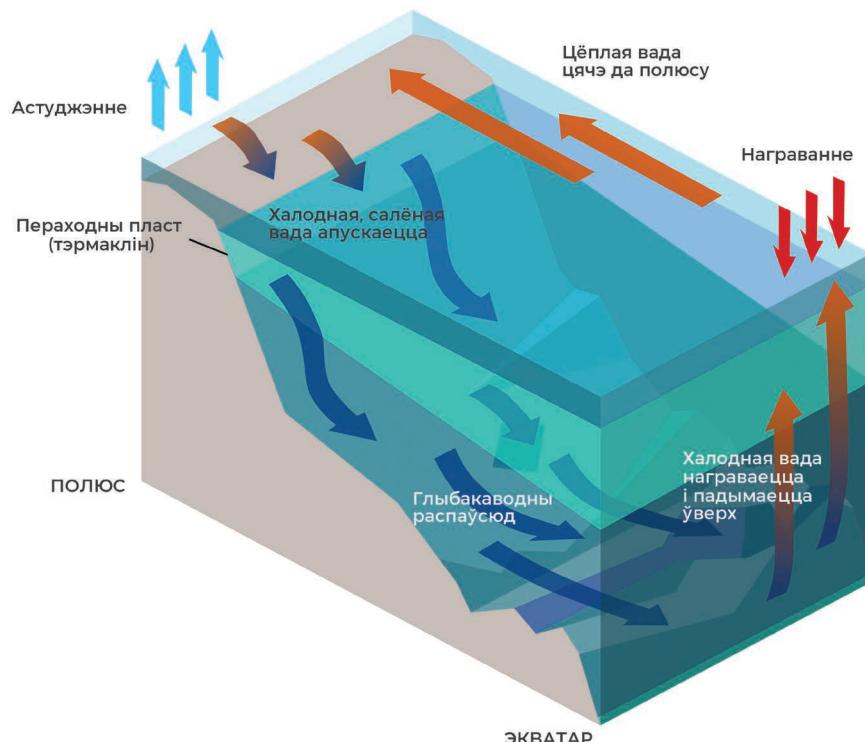
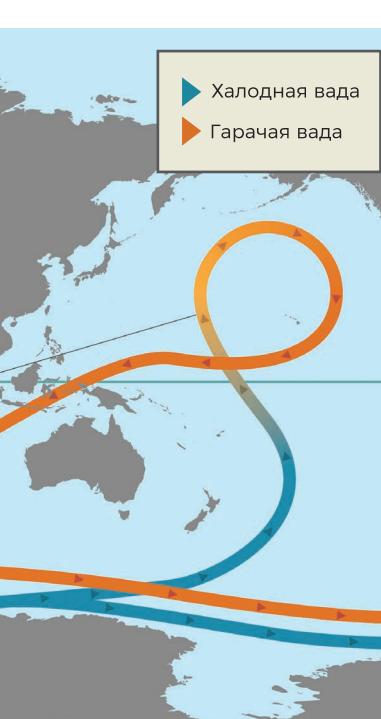
1. Ветравыя паверхневыя плыні пераносяць цёплія і слабасалёныя (а такім чынам – лёгкія) воды з экватарыяльнай часткі Ціхага ды Індыйскага акіянаў у басейн Атлантычнага акіяну, а адтуль з экватарыяльнай часткі Атлантычнага акіяну – да паўночнае.

2. Там водныя масы на паверхні зазнаюць змены тэмпературы і салёнасці ў выніку атмасфернага ахаладжэння, утварэння лёду, выпадзення ападкаў і г. д., што павялічвае шчыльнасць вады, апускаючы яе на дно.

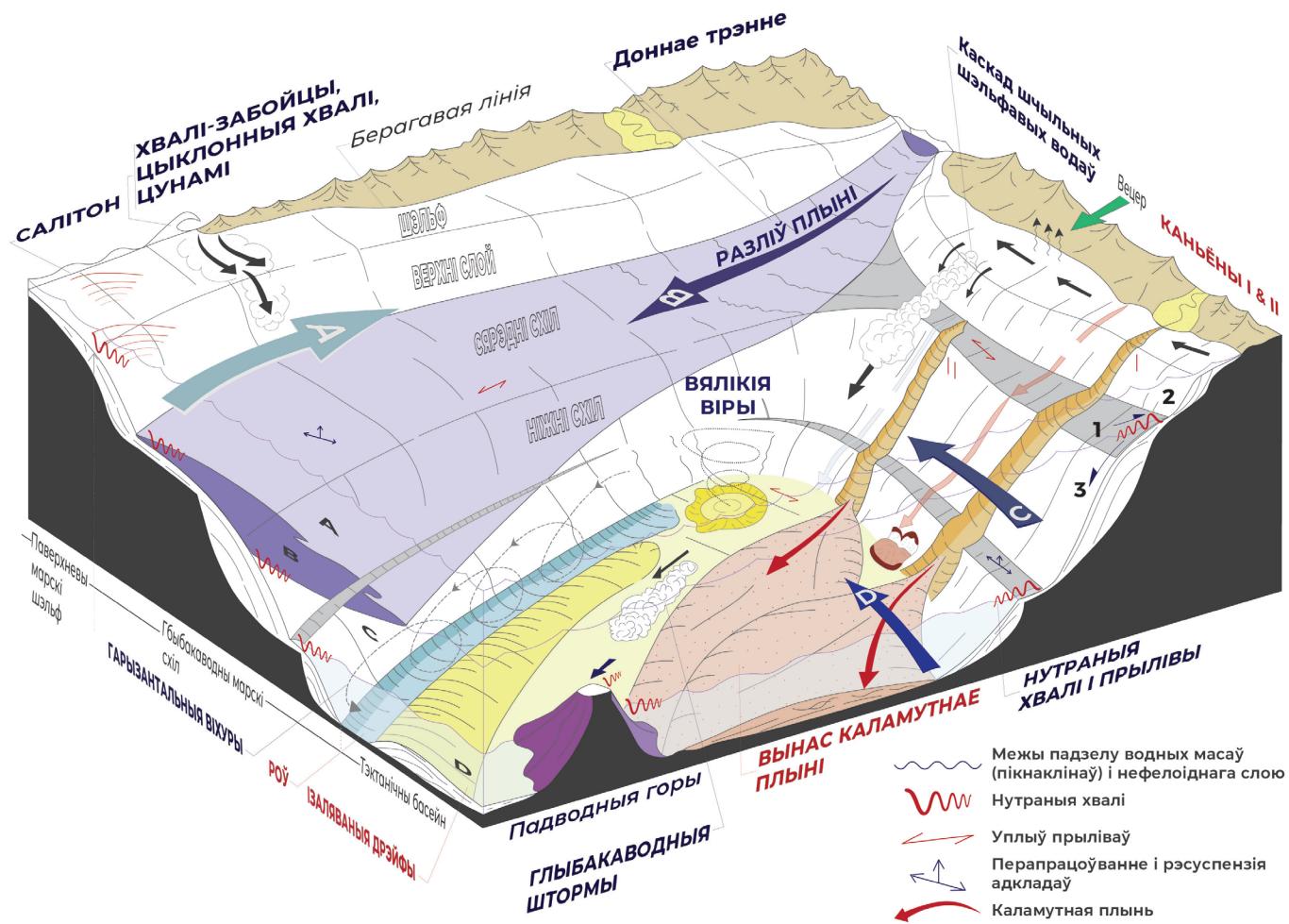
3. Шчыльныя воды на глыбінях перамышчаюць ў бок, супрацьлеглы кірунку руху ветравых паверхневых плыні – гэтак яны вяртаюцца назад у Ціхі і Індыйскі акіяны.

4. Падчас падарожжа глыбінямі акіяну на межах халоднае палярнае ды цёплае экватарыяльнае водных масаў адбываеца павольнае перамешванне, якое няўхільна змяняе тэмпературу і салёнасць. Урэшце глыбокая вада перамышчаеца ўверх у выніку працэсаў, дасюль дрэнна зразумелых навукоўцам, і ў канчатковым выніку зноў дасягае паверхні акіяну.

Увесь шлях воднае масы – з моманту яе фармавання ў паверхневых водах палярных мораў, праз павольны спуск у глыбакаводныя вобласці і да падымання назад на марскую паверхню – **займае 1000-1500 гадоў**. Гэтак, паміж акіянічнымі басейнамі адбываеца пастаяннае перамешванне, якое яднае акіяны Зямлі ў глабальнуу сістэму. Увесь гэты працэс суправаджаеца сталым пераносам не толькі энергіі (у формы цяпла), але і матэрыі (ападкавыя адклады, часцінкі, газы і г. д.).



Малюнак 16



3D-эскіз, які паказвае магчымыя акіянаграфічныя працэсы ў глыбакаводным асяроддзі

Малюнак 2

Але чаму ж так доўга? Звернемся да колькасных хартастык хуткасці плыні. Калі хуткасць паверхневых плыні можа дасягаць 250 см/с (9 км/г), хуткасці глыбінных плыні значна меншыя – у сярэднім яны вар’ююцца ў межах 2-20 см/с (да 0,72 км/г). Для параўнання, сярэдняя хуткасць пешахода – 3,6 км/г, а хуткасць бегу – 9-12 км/г, то бок кожны з нас здолеў бы з лёгкасцю абагнаць глыбакаводную плынь, усяго толькі няспешна шпацыруючы, а вось з паверхніеваю давялося б паспаборнічаць.

Але гэта яшчэ не ўсё. Апроч працэсаў, абу-моўленых тэрмакаліннаю цыркуляцыяй, на дынаміку прыдонных плыні могуць істотна ўплываць перарывістыя акіянаграфічныя працэсы рознага маштабу: віхуры, глыбакаводныя штормы, падводныя прыліўныя плыні, нутраныя хвалі, каскад шельфавых водаў, падводныя цунамі, гіганцкая віры, цыклонныя хвалі і г. д. Яны часта ўзнікаюць на мяжы дзвюх водных масаў з аб'ектамі рэгіональнай тапаграфіі (то бок больш складаных геалагічных структураў, што падцілююць акіянічнае дно).

Некаторыя з іх паказаныя на малюнку 2. Гэтыя глыбакаводныя працэсы могуць дзеяць перыядычна (прытокі), квазістационарна (геастрафічныя плыні) і аперыядычна (глыбакаводныя штормы), прыводзячы да часовых і просторавых зменаў марфалогіі дна.

Шматлікія даследаванні паказваюць: у большасці выпадкаў глыбакаводная седиментацыя кантралюеца спалучэннем **некалькіх** акіянаграфічных працэсаў (стальных і перыядычных), а не аднаго асобнага, хоць некаторыя з іх могуць дамінаваць ці мець важнейшае значэнне ў залежнасці ад геаграфічных умоваў рэгіёну. Гэтак, каб зразумець фармаванне марскога дна ў асобных рэгіёнах, важна комплексна ацэньваць складаную карціну ўзаемадзеяння шматлікіх акіянаграфічных працэсаў і, вядома, рэгіональнай тапаграфіі. На малюнку 3 можна ўбачыць, як, здавалася б, адна цэльная водная маса можа падзяляцца на мноства дробных працэсаў у выніку ўзаемадзеяння з глыбакаводным асяроддзем.

**Віхур (і сярэднемаштабныя віхуры).** Падводныя віхуры звычайна ўзнікаюць праз бараклінную нестабільнасць (калі шчыльнасць воднае масы змяняеца

праз змену тэмпературы ці салёнасці) ці ў выпадку, калі водная маса сутыкаецца з перашкодамі марскога дна (каньёнам, падводнаю гарою, мысам). Часам віхуры могуць дасягаць памеру 10-100 км і захоўвацца адносна доўга (ад колькіх дзён да месяцаў). Такія віхуры называюць сярэднемаштабнымі. Часта менавіта яны ўплываюць на фармаванне нефелойдных пластоў (пластоў каламутнае прыдоннае вады) і перанос ападкаў на вялікія адлегласці.

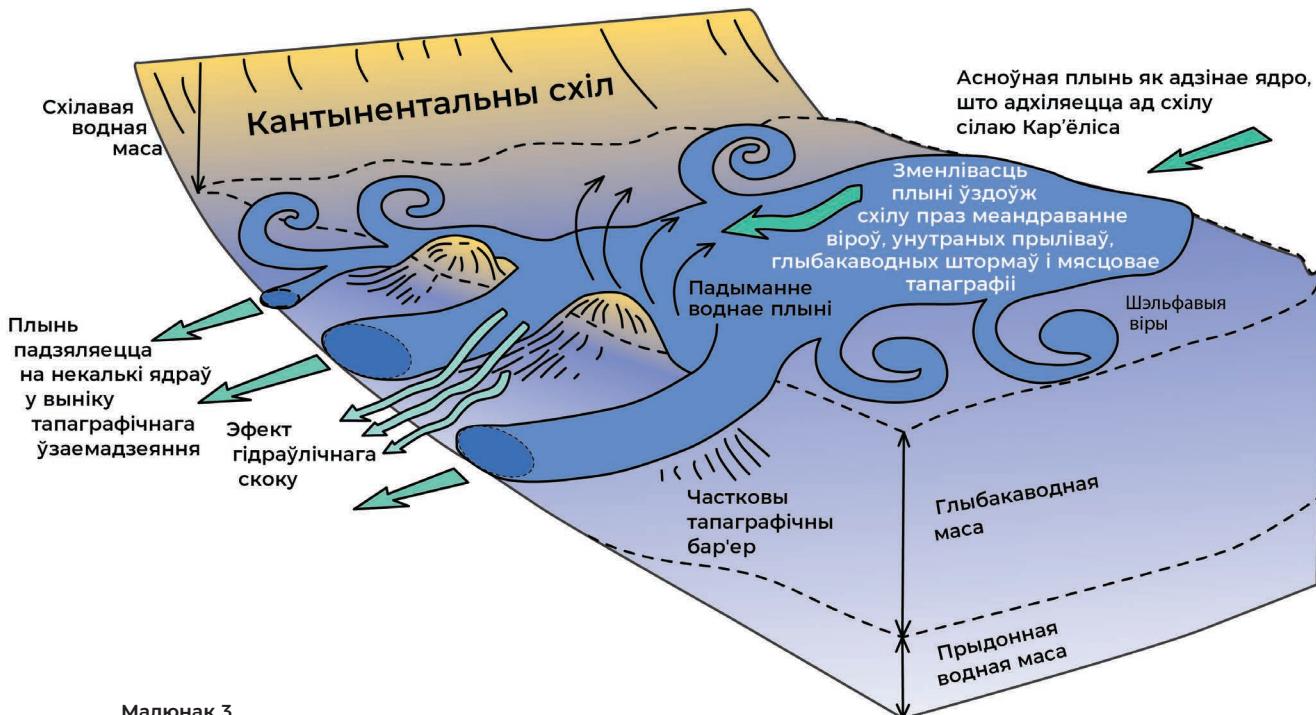
**Глыбакаводныя штормы** ўяўляюць сабою перарывістая перыяды моцных глыбакаводных плыній, што ўзнікаюць у раёнах з высокай кінетычнай энергіяй звычайна праз узаемадзеянне ветравых паверхневых плыній і глыбакаводнага складніку тэрмахаліннае цыркуляцыі. Яны шчыльна злучаныя з віхурамі. Сярэдняя хуткасць плыні ў часе донных штурмаў можа павялічвацца ў 2-5 разоў (у сярэднім 15-20 см/с) і захоўвацца ў такіх умовах ад колькіх дзён да тыдняў. Глыбакаводныя штормы характарызуюцца хуткім сусpenзаваннем донных адкладаў, пры гэтым размытыя ападкі могуць пераносіцца прыдоннымі плыніямі на вялікія адлегласці і пасля адкладацца ў іншых рэгіёнах.

**Падводныя вадаспады** ўтвараюцца, калі буйнамаштабныя тапаграфічныя

элементы на марскім дне перашкаджаюць праходнасці аднароднае плыні водных масаў. Гэтая з'ява мала чым адрозніваецца ад парушэння праходу паветраных масаў высокага гары. Гэтак і ўтвараюцца эфектныя падводныя вадаспады, калі шчыльная вада збираецца ззаду, а потым валіцца каскадам уніз з тапаграфічнага бар'ера, ствараючы завялікую плынь. Самы высокі падводны вадаспад Атлантычнага акіяну - у Дацкай пратоцы. Тут выліваюцца 5 млн м<sup>3</sup> вады над парогам кожную секунду, больш як на 3,5 км уніз, ствараючы глыбокія воды Паўночнай Атлантыкі. Для парайнання, самы вялікі вадаспад на Зямлі - Анхэль (*Ángel*) у Венесуэле - вышынёю ўсяго 1 км, а вадаспад з наймацнейшай хуткасцю плыні - Гуайра (*Guairá*) на мяжы Парагваю і Бразіліі - вылівае ўсяго толькі 13 тыс. м<sup>3</sup>/с. Шкада, што да падводных вадаспадаў не так проста дабрацца падчас чаканых вакацыяў.

**Прыліўныя плыні** могуць быць (1) баратропныя - ўтвараюцца на паверхні мора ў адказ на гравітацыйную сілу Сонца і Месяца, (2) бараклінныя, ці нутраныя - ўтвараюцца ў стратыфікованых водах у выніку ўзаемадзеяння паверхневых (баратропных) прыліваў з тапаграфічнымі зменамі марскога дна (напрыклад, падводныя горы і хрыбы). Прыліўныя плыні могуць узнікаць за 1-24 гадзіны

#### Схематычная выява падзелу суцэльнае воднае масы на мноства дробных працэсаў



і дасягаць хуткасцяў 25-75 см/с. Яны могуць істотна ўплываць на глыбакаводную цыркуляцыю, распайсюджваючыся на вялікія адлегласці і ўплываючы на ападкавыя працэсы.

**Нутраныя хвалі** – гравітацыйныя хвалі, што ўзнікаюць праз нестабільнасць шчыльнасці на мяжы раздзелу паміж воднымі масамі. Яны звычайна маюць ніжэйшыя частоты (ад дзясяткаў хвілінай да дзён) і больш высокія амплітуды (да сотняў метраў) за паверхневыя хвалі. Нутраныя могуць, распайсюджваючыся гарызантальна (калі шчыльнасць змяняеца на кароткай вертыкальнай адлегласці) або вертыкальна (калі шчыльнасць змяняеца бесперапынна), абменьваючыся энергіяй па ўсёй тойшчы вады.

**Каскад шчыльных шэльфавых водаў** – плынъ, што ўзнікае ў шэльфавых раёнах праз змены тэмпературы / салёнасць вады (як вынік - шчыльнасці) і спускаецца ўніз па кантынентальным схіле. Цячэ ўздоўж і ўпоперак схілу, выклікаючы паўторную завісь і пераразмеркаванне адкладаў, істотна ўплываючы на фармаванне дробнамаштабных марфалагічных формаў марскога дна (напрыклад, хвалі адкладаў, баразны, эразійныя размывы).

Давайце зробім невялікае адступленне. Каб зразумець маштаб тэхнічных складанасцяў, з якімі сутыкаліся і сутыкаюцца навукоўцы, якія вывучаюць падводныя плыні, паспрабуйце ўявіць сябе на месцы такога даследніка і задайце сабе пытанне: што трэба зрабіць, каб дакладна памераць хуткасць і кірункі падводнае плыні ў гэтым пункце прасторы ды зразумець, ці змяняюцца яго параметры ў залежнасці ад часу / сезону / пары году? Першае, што прыходзіць у галаву, – трэба ўсталяваць у патрэбным пункце адмысловы вымяральны прыбор, які можа замерыць хуткасць і кірунак плыні ды запісаць усе патрэбныя звесткі. Такі прыбор сапраўды існуе, гэта гідраметрычная круцёлка, навукоўцы ўсяго свету рэгулярна карыстаюць яе для вызначэння хуткасці і сілы плыні ў канкрэтны момант часу. Але ўявіце толькі, з якімі фінансавымі і тэхнічнымі складанасцямі вы сутыкніцеся, каб усталяваць такую прыладу на глыбіні 6 км ажно на адзін год дзесяці пасярэдзіне акіян?

На шчасце, праз 30 гадоў пасля першага адкрыцця моцных плыні ў глыбакаводных частках акіяну, у 1963-м, два акіянографы – Гізэн і Голістэр (*Heezen, Hollister*) – атрымалі першыя фотаздымкі марскога дна, на глыбінях 2,5-5 км (мал. 4). Гледзячы на іх, навукоўцы заўважылі:

прыдонныя плыні ствараюць ясна бачныя марфалагічныя формы беспасярэдне на марскім дне, перамяшчаючы велізарныя масы пяску і глею, як гэта робіць зямны вецер, ствараючы выдмы (ці дзюны) і пясчаную рабізну ў пустэльні. Вы сапраўды можаце ўбачыць гэтыя выдмы, рабізну і пясчаныя хвалі на марскім дне гэтак сама, як бачыце іх у пустэльні ці на пляжы (мал. 5). Магчыма, мультфільм пра Губку Боба больш рэалістычны, чымся мы думалі. І гэтае адкрыццё ў корані змяніла ўсё.

Навукоўцы задумаліся: а што, калі мы эмпірычным спосабам установім заканамернасці паміж сілай і кірункам плыні ды tym малюнкам, які яны пакідаюць на марскім дне? Гэтак мы скарыстаєм марфалогію марскога дна і фізічныя ўласцівасці адкладаў у якасці паказніку хуткасці і кірунку прыдонных плыні – і тады кожны здымак марскога дна (напрыклад, як на мал. 6) раскажа нам, што адбываўлася тут апошні дзень / месяц / год, а ў

**Адзін з першых падводных фотаздымкаў. Зроблены ў пратоцы Дрэйка на глыбіні 4 км у 1960-х гг. На здымку відаць добра развітая рабізна з кароткімі грабянямі мінеральнага пяску**



Малюнак 4 | Heezen and Hollister, 1963



Малюнак 5

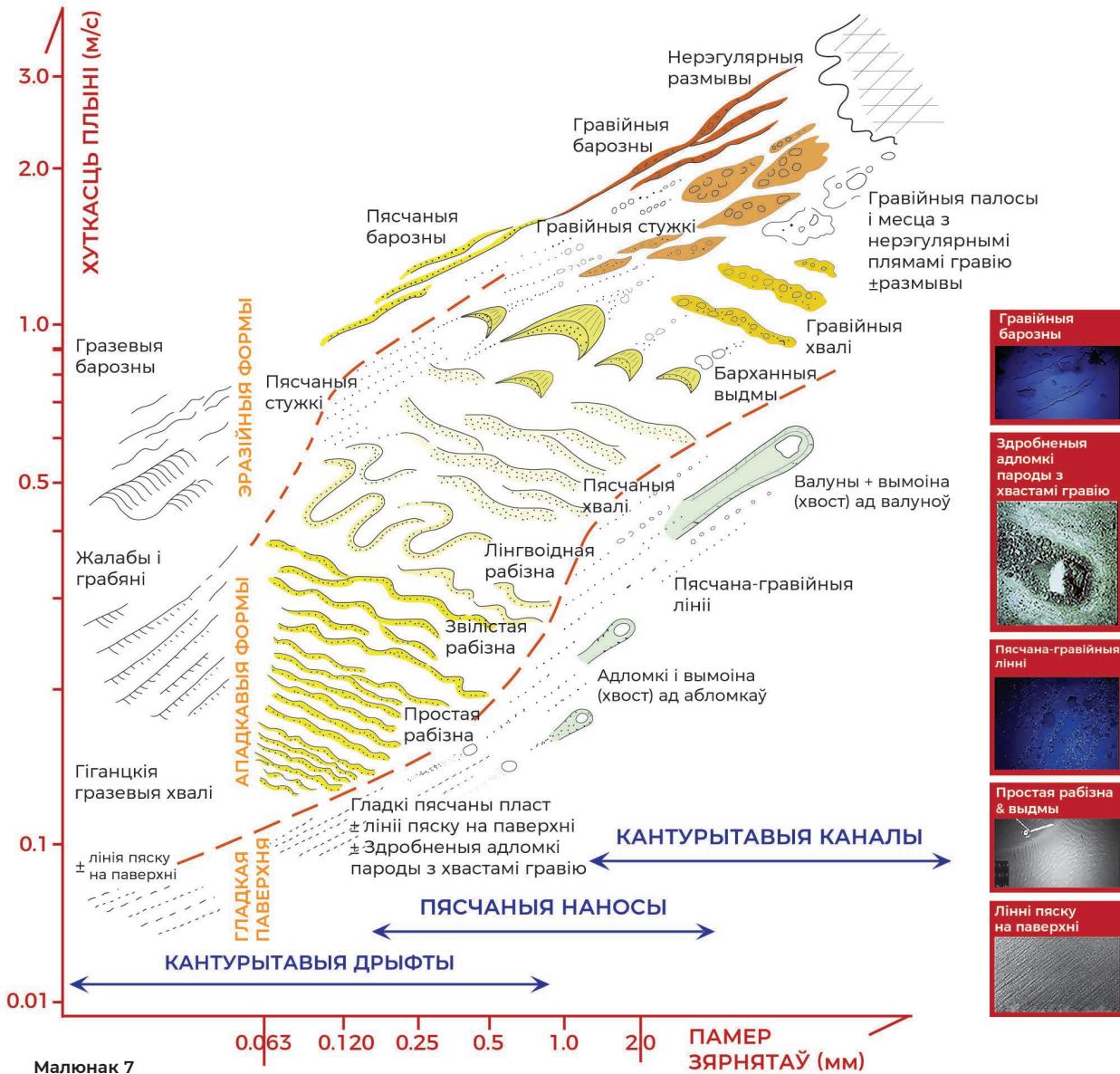
Здымак глыбакаводнае рабізны на ціхаакіянской ускраіне Антарктычнага пайвострава, на глыбіні каля 3 км



Малюнак 6 | Hernandez-Molina et al., 2011

выпадку мегаструктураў – апошнія 100–1000 гадоў. Гэтыя адкрыцці паставілі перад марскімі геолагамі і фізікамі-акіянографамі зусім новы ўзровень заданняў на наступныя некалкі дзесяцігоддзяў. Пачынаючы з 1960-х гадоў, былі распачатыя шматлікія спробы вывучаць кантраліяваную плыніямі седыментациёю (працэс адкладу) розных элементаў рэльефу ў розных месцах, пераважна ў Атлантычным і Ціхім акіянах. У выніку гэтае калектывунае працы сотняў навукоўцаў была створаная схема – матрыца залежнасці хуткасцяў і кірунку марскога плыні ад марфалагічных характеристык дна, што дазваляе нам **ацаніць паводле аднаго толькі здымку, якія плыні дамінуюць у гэтым пункце марскога дна** (мал. 7).

Матрыца, што паказвае схематычную выяву марфалагічных элементаў марскога дна як функцыю ад фізічных уласцівасцяў (памеру) адкладаў і хуткасці плыні



Малюнак 7

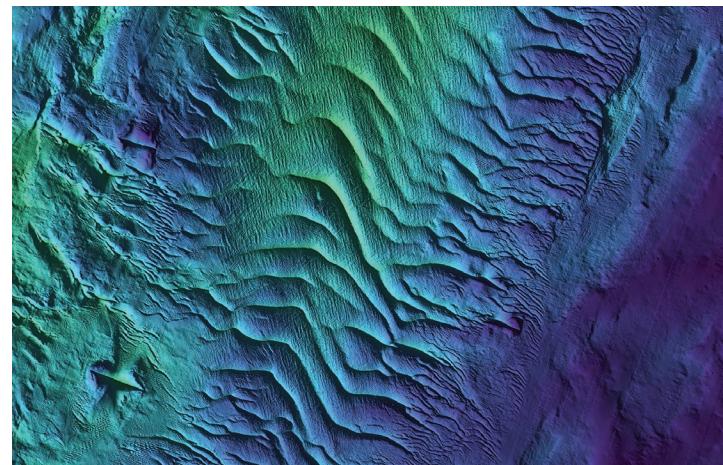
Гэта паслужыла асноваю для распрацоўвання новага візуальнага падыходу на сутыку фізічнай акіянографіі ды марской геалогіі, які выкарыстоўвае марфалогію марскога дна ў якасці ключавое крыніцы інфармацыі пра зменлівасць структуры глыбакаводнае цыркуляцыі.

### Дык якое яно, марское дно?

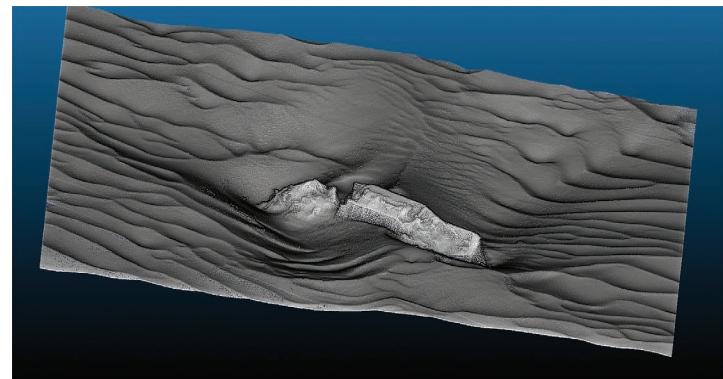
Вялікая частка марскога дна пакрытая пластамі адкладаў, прычым у кожнага пласта ёсць свая геалагічна гісторыя. Мы ўжо зразумелі, што ўсе вышэйпералічныя акіянографічныя працэсы адыгрываюць асноўную ролю ў фармаванні марфалогіі гэтых адкладаў. Аднак важна растлумачыць, што пад марфалагічнымі элементамі марскога дна, утворанымі дзяякоючы дзейнасці плыніяў, мы не маем на ўвазе найскладанейшыя тэктанічныя структуры, як падводныя горы, хрыбы, западзіны, тэктанічныя жалабы і г. д. На ўтварэнне гэтых структураў паўплывалі працэсы значна больш складанага і працяглага характару. Мы ж будзем казаць пра паверхневыя марфалагічныя формы марскога дна, якія ўтварыліся з дапамогай **эрозіі** (вымыванне пародаў воднымі плыніямі), **пераносу** і паўторнага **адкладу** іх у іншых месцах. Але не перажывайце, такія формы таксама бываюць вельмі масіўныя і ўражальныя, нібы гіганцкія выдмы ў пустэльні Гобі ці сярэдняга памеру рачныя каньёны. Прыдонныя плыні пры гэтым выступаюць як сталая гідрадынамічнасіла, і ўзялежнасці ад іх масіўнасці, хуткасці ды інтэнсіўнасці яны ствараюць як буйнамаштабныя, гэтак і шырокі спектр дробнамаштабных формаў на марскім дне (мал. 8).

Тут важна зрабіць паўзу і растлумачыць, што сабой уяўляюць гэтыя адклады. Паверхневы футарал марскога дна – гэта велізарная разнастайнасць дробных часцінок, што выпалі ў асадак. Некаторыя былі прынесеныя на дно акіяну з сушки, зваліліся з космасу ці ўтварыліся ў выніку розных біялагічных ці хімічных працэсаў. Паходжаннем усе адклады акіяну падзяляюцца на: **тэрыгенныя** (размытая і прынесеная з сушки), **біягенныя** (утвораныя дзяякоючы дзейнасці марскіх арганізмаў), **вадародныя**, ці **гідрагенныя** (аселыя ў выніку хімічных працэсаў з вады), **вулканагенныя** (якія трапілі ў акіян у выніку дзейнасці вулканаў) і **касмагенныя** (трапілі з касмічнае просторы). Дакладнае вывучэнне ўласцівасцяў гэтых ападковых адкладаў геолагамі дае каштоўныя звесткі пра тэктанічную гісторыю Зямлі, эвалюцыю марскога жыцця, хроніку клімату мінулага, змены ў характеристы падводных плыніяў, упłyvu

А) Пясчаныя хвалі ў Ірландскім моры ў межах праекту INFOMAR



Б) Затанулы ў 1917 годзе карабель SS W.M. Barkley, акружаны пясчанымі хвалямі



В) Пясчаныя хвалі вышынёю да 2 м каля Данэголу. Здымкі зробленыя з дапамогаю шматпрамянёвага рэхалота (multibeam)



Малюнак 8

метэарытаў, вывяржэнні падводных вулканаў, змены ўзроўню мора, масавага вымірання і шмат якіх іншых працэсаў. Звычайна гэтыя адклады трапляюць у акіян або праз асяданне ў тоўшчы вады часцінка за часцінкай, як сняжынкі падаюць з неба і акумулююцца ў выглядзе снежнага покрыва на сушы (пелагічныя ападкі), або праз перанос адкладаў з сушы ці з іншых частак акіяну з дапамогаю розных гідрадынамічных працэсаў. Існуюць таксама біяхімічныя ападкі, што ўтвараюцца *in situ* (на месцы), то бок узнікаюць у месцы асаджэння ў выніку геахімічных і біяхімічных рэакцыяў, але гэта ўжо зусім іншая гісторыя.

На хуткасць пераносу і адкладу ападкаў уплываюць тып, памер, хімічны склад і колькасць гэтых зярнятаў у ападках, а таксама энергетычны ўмовы ў месцы асаджэння, то бок уласна дзейнасць падводных плыніяў. Звычайна, каб ссунуць з месца зярнятка буйнейшага памеру, напрыклад, пясок, неабходныя ўмовы высокай энергіі, г. зн. больш інтэнсіўныя плыні за, напрыклад, тыя, што здольныя пераносіць драбнейшыя адклады, як глей. І чым большая хуткасць нашае плыні, тым у больш складаныя і мудрагелістыя формы складуцца нашыя часцінкі (мал. 9).

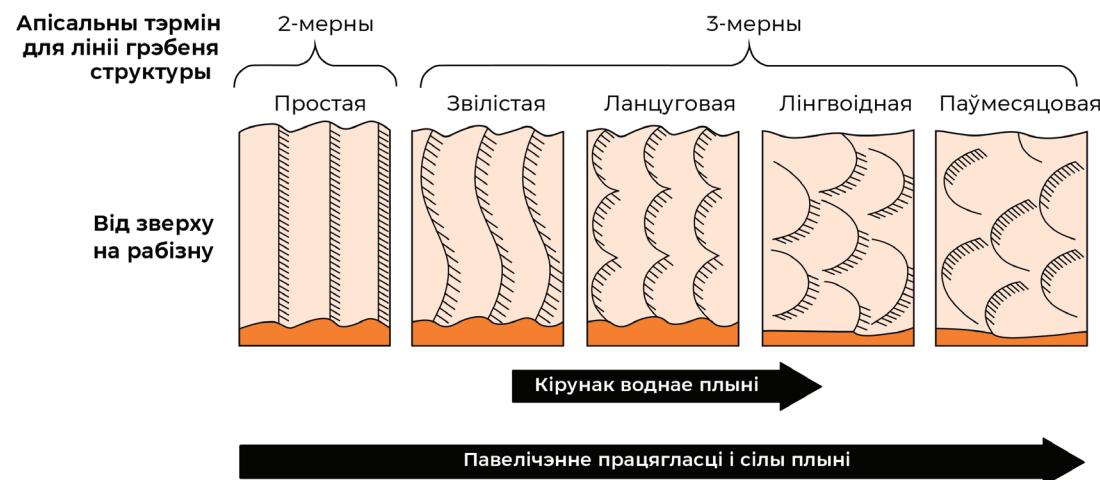
Гэтак, можам зрабіць вынікову: дзякуючы разнастайнасці марскіх адкладаў элементы рэльефу марскага дна таксама надзвычайна разнастайнія марфалагій, седименталогій (складам, фізічнымі ўласцівасцямі) і прасторавымі харарактарыстыкамі. Шмат якія даследнікі спрабавалі вывучаць розныя тыпы формаў адкладаў, што сустракаюцца на марскім дне. Не зважаючы на тое, што цягам

гадоў не існавала агульнае класіфікацыі і тэрміналогіі для ўсіх выяўленых формаў, за апошнія дзесяцігоддзі былі распачатыя некаторыя спробы агульніць усе звесткі пра іх. У наш час геалагічна-акіянографічная навуковая супольнасць карыстаецца класіфікацыяй паводле працы Stow *et al.* (2009), якая падзяляе ўсе паверхневыя марфалагічныя элементы марскага дна паводле распасцірання на дзве асноўныя групы: лінейныя і папярочныя формы, а паводле маштабу – на буйнамаштабныя і дробнамаштабныя. Большасць з гэтых элементаў можна ўбачыць на ўжо знаёмай нам матрыцы, створанай тою ж групой навукоўцаў (мал. 7).

Буйнамаштабныя архітэктурныя элементы памерам могуць дасягаць сотняў кіламетраў і звычайна фармуюцца ў выніку сталай працяглай актыўнасці з сярэднімі хуткасцямі ад  $< 0,5$  м/с для такіх ападкавых формаў, як, напрыклад, кантурытавыя дрэйфы, да  $> 0,5$  м/с для эразійных элементаў (напрыклад, краёвых равоў, падводных каналаў, буйнамаштабных барознаў і г. д.). На гэтыя буйнамаштабныя марфалагічныя элементы накладаюцца дробнамаштабныя формы памерам ад некалькіх сантymетраў да кіламетраў (выдмы, рабізна, барозны, размывы і г. д.).

Лінейныя формы ўзнікаюць паралельна кірунку плыні і складаюцца з элементаў ападканазапашвання ды эрозіі розных маштабаў, як баразёнак, каналаў, жалабоў, грабянёў, скалаў з навеянымі з аднаго боку паверхневымі адкладамі, размываў, стужковых слядоў, лініяў паверхні і г. д. Гэтыя формы ўтвараюцца пры хуткасцях плыні  $0,1-1$  м/с. Папярочныя

#### Утварэнні розных відаў выдмаў і рабізны ў залежнасці ад кірунку і хуткасці плыні, выгляд у плане (зверху)



Малюнак 9

формы арыентаваныя латэральна адносна кірунку плыні і складаюцца з галоўным чынам такіх элементаў апад-каназапашвання, як рабізна, выдмы, пясчаныя хвалі, гравійныя хвалі і гіган-цкія хвалі помптаў (хвалі бруду). Хуткасці плыні, злучаныя з гэтымі формамі, вагаюцца - 0,05-0,25 м/с.

Магчыма, тут ваш мозг даў слабіну і трохі заблытаўся ўва ўсіх гэтых незразумелых назвах. Паверце: гэта сапраўды складана. Падобнае адчуванне мае кожны навуковец, які спрабуе зразумець пераменныя і складаныя паводзіны прыдонных плыніяў ды тое, як яны ўплываюць і ўскладняюць працэсы седыментацыі на марскім дне. Нездарма чалавецтву спартрэблісць некалькі дзесяцігоддзяў, каб апісаць і сфармуляваць веды з некалькіх папярэдніх абзацоў.

### **Куды вядуць нас гэтыя адкрыцці?**

А дакладней - навошта ж яшчэ, апроч задавальненні нашае цікаўнасці, нам трэба вывучаць глыбакаводныя гідрадынамічныя працэсы ды іх уплыў на марское дно і якую практичную карысць мы маем ад атрыманых ведаў? Насамрэч кожная кучка вымытых горных пародаў, што ляжыць надзвычай далёка ад нас на глыбіні да 6 км, як нішто іншае дапамагае навукоўцам зразумець клімат Зямлі, як ён змяняецца і змяняўся раней, што мы можам чакаць ад будучыні, гледзячы на мінулае. Гэтую гісторыю клімату мінунлага сёння мы можам атрымаць толькі з адкладаў, што ўтварыліся пад уплывам сталых акіянічных плыніяў. І гэта надзвычайна ўражжае.

Дзякуючы марскім адкладам мы можам ператварыцца ў Шэрлака Голмза, які з дапамогаю дэдукцыі і аналізу бруду на падэшве чаравіка мог дакладна аднавіць нядайнія падзеі. Гэтак і геолагі, паглядзеўшы на разрэз донных адкладаў, могуць расказаць вам, у якім кірунку і якой інтэнсіўнасці падводныя плыні працякалі тут 2/10/100/1000 гадоў таму і чаму. Вядома, чым далей нам захочацца залезці ўглыб гісторыі, тым больш складаныя метады давядзенца скарыстаць. Калі для найбліжэйшага часу нам часта досыць прааналізаваць фота і відэа ўчастку марскога дна, то для адцінкаў ранейшага часу геолаг будзе карыстаць ужо сейсмавыведку, свідраванне для ўзыцца кернаў, акустычнае зандаванне і г. д.

Апроч таго, веды пра глыбакаводную цыркуляцыю маюць важнае значэнне для ацэнкі геалагічнае небяспекі пры

будаванні афшорных канструкцыяў (нафтавых і газавых платформаў, ветравых электрастанцыяў, партовых збудаванняў і г. д.), для выведвання вуглевадародаў і радовішчаў іншых карысных выкапніяў на марскім дне...

А што да ўплыву на сучасны клімат, паверхневыя і глыбакаводныя халодныя плыні дапамагаюць значна зменшыць тэмпературу атмасфери Зямлі, перакіроўваючы халодныя глыбокія палярныя воды ў ніжэйшыя шыроты, адначасова выклікаючы паверхневы перанос цёплых субтропічных і тропічных водаў ва ўмераныя шыроты. Апроч таго, менавіта гэтая вертыкальная плынь водных масаў дастаўляе раствораны кісларод у глыбінныя часткі Сусветнага акіяну, бо халодная палярная вада, багата насычаная раствораным кіслародам, апускаеца і павольна распаўсюджваеца па марскім дне цягам сотняў і тысячаў гадоў перад тым, як падняцца на паверхню. Без гэтага прытоку кіслароду вялікая частка глыбакаводнага акіяну была б гіпаксічная (з ніzkім утрыманнем кіслароду) ці нават бескіслородная, а абісальнае жыццё не існавала б у той разнастайнасці і багацці, як цяпер.

### **Крыніцы:**

Heezen, B.C., and Hollister, C.D., 1963. Evidence of deep-sea bottom currents from abyssal sediments.

Hernandez-Molina, F.J., Stow, D.A.V., Llave, E., Rebesco, M., Ercilla, G., Van Rooij, D., Mena, A., Vazquez, J.T., Voelker, A.H.L., 2011b. Deep-water circulation: processes & products (16–18 June 2010, Baiona): introduction and future challenges. Geo-Marine Letters 31, 285–300

Paul R. Pinet. Jones and Bartlett Learning, 2019. Invitation to Oceanography. Science: 598 pages.

Rebesco, M., Hernández-Molina F.J., Van Rooij D., and Wåhlin A., 2014. Contourites and associated sediments controlled by deep-water circulation processes: State-of-the-art and future considerations. Marine Geology 352: 111–154.

Stow D.A.V., Hernandez-Molina F.J., Llave E., Sayago-Gil M., del Rio V., and Branson A., 2009. Bedform-velocity matrix: The estimation of bottom current velocity from bedform observations. Geology 37(4): 327–330

Tucker M. E., 2001. Sedimentary Petrology, 3rd ed.: ix 262 pp. Oxford: Blackwell Science.

# ЯК ВЫІЗНАЧЫЦЬ АБЛОКІ І НАДВОР'Е?

Ганна К.

Ідэя і аўтарства ілюстрацыі  
Дана Аляксандрава



У гэтым мэтэаралягічным разьдзеле мы пагаворым пра аблокі. Аказваецца, яны маюць свае назовы. І гэта ня слонік, птушка, сабака ці авечка. А яшчэ, гледзячы на аблокі, можна вызначыць надвор'е на блізкую будучыню.

Разгледзім падзел аблокаў паводле ніжніх мяжы хмарнасці.

Пачнём звысоку – трапасфэры, вышэй за 6 кіляметраў (*cirrus* – **перкаватыя**, *cirrostratus* – **перкавата-пластаватыя**, *cirrocumulus* – **перкавата-клубаватыя**).

Гэтыя аблокі ўтвараюцца пры найболей нізкіх тэмпэратурах і складаюцца з крышталікаў лёду. Узынікаюць пры пад'ёме цёплага паветра над вялікім аўёманам халоднага. Яны тонкія, напалову празрыстыя і мала зацяняюць сонечнае сяянце.

Звычайна перкаватыя аблокі назіраюцца ў невялікай колькасці, але часам могуць займаць большую частку неба. Ападкаў зь іх няма ніколі. Аднак, хоць і выглядаюць бяскрыўдна, акурат яны і ёсьць прыметаю штармавога надвор'я.



[pixabay.com](#) | [photosforyou](#)

Аблокі верхняга яруса – прадвеснікі цёплага фронту, што нясе з сабою цёплае надвор'е, але часта зь ім прыходзяць і дажджы. Перкаватыя аблокі ідуць наперадзе лініі фронту, паступова закрываючы ўсё неба. Яны зъмяняюцца перкавата-пластаватымі аблокамі, а далей аблокамі сярэдняга яруса – высокапластаватымі, іх часам дастаткова цяжка падлічыць. Далей у фронт прыходзяць іншыя, зь якіх і выпадае дождж ці снег. Могуць нават назірацца навальніцы ды пераменны вецер.

Перкавата-клубаватыя аблокі вельмі тонкія, белыя і складаюцца быццам з камячкоў ваты. Ападкаў з такіх аблокаў няма ніколі.



[pixabay.com](#) | [Vijayanarasimha](#)

Далей ідуць аблокі сярэдняга яруса. Утвараюцца на вышыні 2-6 кіляметраў (*altocumulus* – **высокаклубаватыя**, *altostratus* – **высокапластаватыя**). Складаюцца з пераахалоджаных кропляў вады ці пераахалоджаных кропляў у сумесі з крышталікамі лёду й сьняжынкамі: у аблоках сярэдняга яруса месцыяцца ў асноўным сьняжынкі поўнае шасьціправінёвые формы. Пры наяўнасці ў воблакавых элемэнтах сьняжыннак і кропляў пераахалоджанае вады адбываецца хуткі рост сьняжыннак ды іх выпадзенне. Наяўнасць жа пераахалоджаных кропляў вады ў воблакавых элемэнтах надае ім шэры колер. Скрозь аблокі сярэдняга яруса сонца прасвічвае слаба ці наагул не прасвічвае. Гэтыя аблокі прадракаюць халодны фронт, што хутка насоўваецца.

Высокаклубаватыя аблокі лёгка адразыніць: не ўтвараюць суцэльнага аднароднага шэрага покрыва, белыя ці шэрыя, складаюцца з асобных камячкоў. Ападкаў зь іх няма. Прыносяць з сабою прыемнае зацішша (штыль).



[pixabay.com](#) | [Mabel Amber](#)

А вось з высокапластаватых аблокаў, што ўзынікаюць на цёплым фронце, могуць выпадаць абложныя ападкі. Ці, ушчыльнія ючыся, яны могуць перайсьці ў пластавата-дажджавыя аблокі. Яны шчыльныя і ніzkія, шэрыя і значна мацней зацяняюць сонца. Выгляджаюць як аднародная суцэльная смуга без прасьветаў.



flickr.com | F Delventhal

Пераходзім да аблокаў ніжняга яруса. Іх мяжа - ад зямлі да 2 кіляметраў (*stratocumulus* - пластавата-клубаватыя, *stratus* - пластаватыя, *nimbostratus* - пластавата-дажджавыя). Складаюцца з дробных аднародных кропляў. Сонечны дыск, што прасьвечваецца скроў пластаватыя аблокі, мае выразныя абрывы. Гэтыя аблокі пакрываюць усё неба - плоскія, хмарныя.

Пластавата-клубаватыя аблокі шэрыя, складаюцца з буйных градаў (хваляў) ці камячкоў, разъдзеленых прасьветамі. Разъмяркоўваюцца ў выглядзе правільных паралельных шэрагаў ці хваляў. Як правіла, з гэтых аблокаў ападкаў німа. Толькі ў асобных выпадках магчымае (надзвычайна рэдка) выпаданье слабых непрацяглыя ападкаў пераважна ў халодны час году.



pixabay.com | Webentwicklerin

Пластаватыя аблокі зь зямлі ўспрымаюцца як аднародны слой шэрага колеру, вельмі нагадваючы туман. Звычайна закрываюць усё неба аднародна шэраю смугою. Ападкаў з такіх аблокаў, як правіла, німа. Часам улетку зь іх выпадае імжа, а ўзімку - рэдкі сьнег ці крупка. Пластаватыя аблокі могуць займаць вялізныя плошчы ды трymацца тыднямі. Яны здольныя надоўга пазбавіць нас сонечнага съятла.



flickr.com | Nondefonzopoccarelli

А вось з пластавата-дажджавых аблокаў, як вы ўжо здагадаліся, заўжды выпадаюць зацяжныя ападкі - дождж ці сьнег. Сонца ці Месяц не прасьвечваюцца. Яны цёмныя, шэрыя і бясформенныя. Гэта апошнія аблокі ў систэме цёплаага фронту.



flickr.com | lricobeck

Яшчэ вылучаюцца аблокі вэртыкальнага разъвіцця. Яны ўтвараюцца ў ніжнім ярусе і растуць вэртыкальна высока ўверх (*cumulus* - клубаватыя, *cumulonimbus* - клубавата-дажджавыя). Зь іх пачынаецца павольны халодны фронт.

Звычайна клубаватыя аблокі ўтвараюцца зранку, удзень дасягаюць максымальнага разъвіцця, а ўвечары расьсейваюцца.

Яны ўтвараюцца, калі паветра ў адным месцы прагрэтае мацней, чымся побач, і тое пачынае падымацца хутчэй. Уяўляюць сабою на небе як адну аблаку, гэтак і вялікі збор. Ападкаў з такіх аблокаў няма. Формаю падобныя да ўзгоркаў, купалаў ці вежаў.

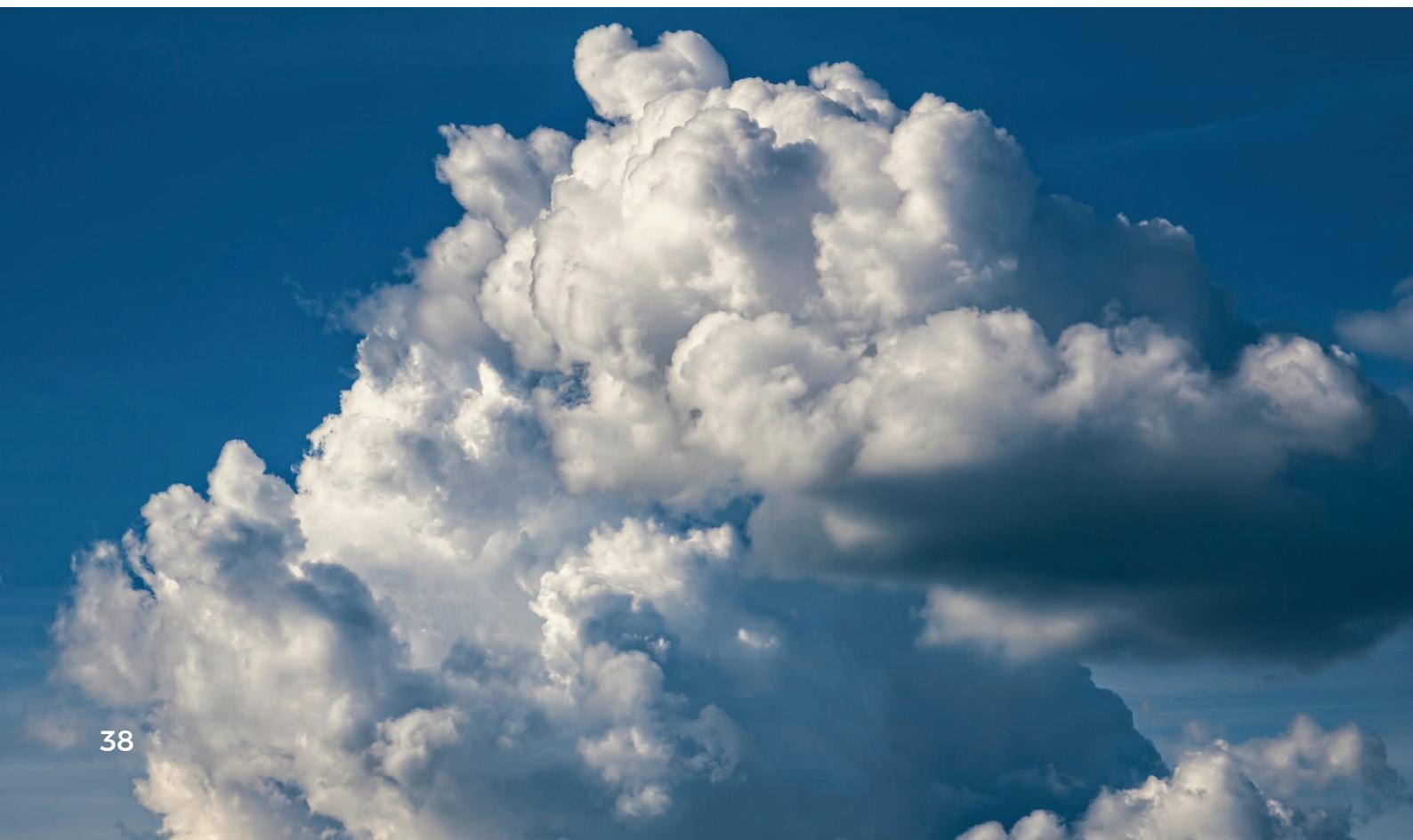


pixabay.com

Клубавата-дажджавыя аблокі – апошняя стадыя разьвіцьця клубаватых аблокаў перад пачаткам іх распаду. Пры спрыяльных умовах разьвіваюцца да вельмі вялікіх вышыні. З клубавата-дажджавымі аблокамі звязаныя навальніцы, залевы, шквал, град ды іншыя небяськія зявы прыроды.

Крыніцы:

1. О. Г. Богаткин, Г. Г. Тараканов - Основы метеорологии;
2. Д. П. Беспалов и др. - Атлас облаков;
3. [http://primgidromet.ru/news/oblaka\\_i\\_ih\\_klassifikaciya/](http://primgidromet.ru/news/oblaka_i_ih_klassifikaciya/).



# ДОМ ЗДАБЫТЫ: РЭЦЭПТ ДВАЙНІКА ЗЯМЛІ

SN

Ідэя і аўтарства ілюстрацыі  
ZMESHANYLES



Рэцепт

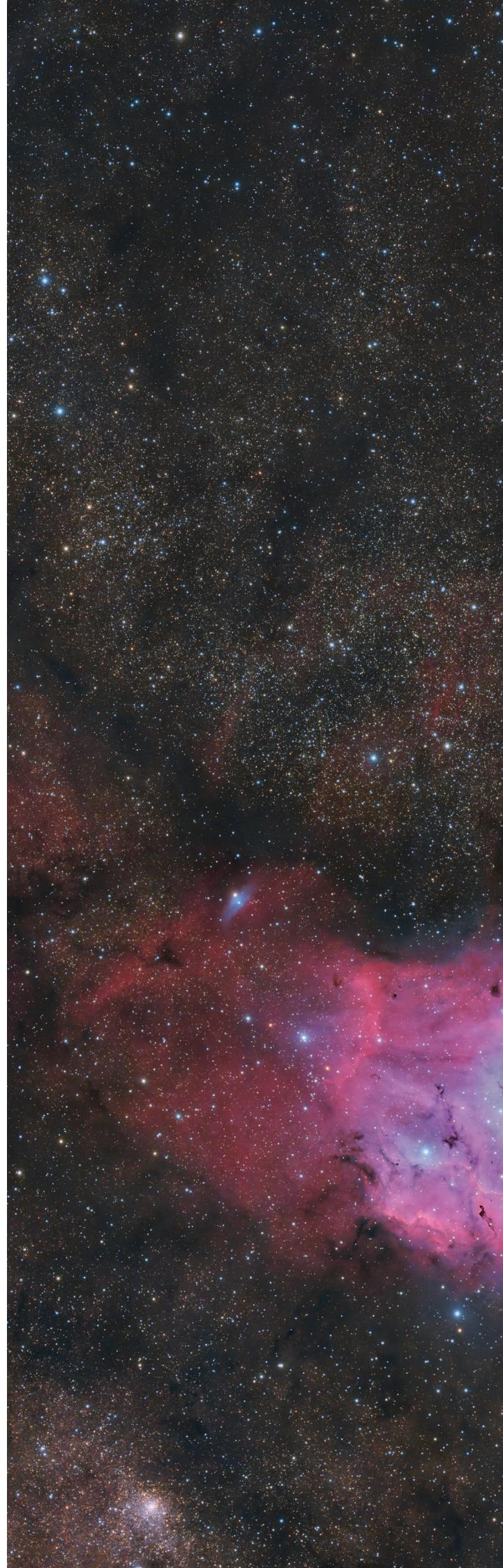
У навуковай фантастыцы – мноства планетаў, што зрабіліся домам для чалавека будучыні: ад нептунападобных карлікаў з крыявлканічнай актыўнасцю да гіганцкіх акіянічных светаў. Фантасты ўкаранілі ў поп-культуру мноства тыпаў планетаў у Сусвеце: гэта і планета вечнае мерзлаты Гот (*Hoth, «Star Wars. Episode V: The Empire Strikes Back»*), трапічны рай Пандора (*Pandora, «Avatar»*), вулканічнае інферна Мустафар (*Mustafar, «Star Wars. Episode III: Revenge of the Sith»*), пустэльнае пекла Аракіс (*Arrakis, «Dune»*) і Крэматорыя (*Crematoria, «The Chronicles of Riddick»*). Але на якіх з іх сапраўды чалавецтва можа знайсці прытулак ды іншапланетнае жыццё?

Наяўнасць вады і жыццёутваральных хімічных элементаў, магнітнае поле і нават прысутнасць арбіタルных спадарожнікаў – патрабаванні да заселенасці планеты, і гэта не поўны спіс інгрэдывенту жыцця. Аднак якія з іх асабліва важныя? Паспрабуем разобрацца.

Важны складнік – параметры планеты. Газавыя гіганты, як Юпітэр ці Сатурн, не валодаюць трывалаю паверхні і дастатковаю шчыльнасцю. Праз гэта цвёрдыя аб'екты будуть праста апускацца ў газавае цела гіганта і на пэўнай глыбіні ціск верхніх пластоў знішчыць іх. Планеты-карлікі часта недастаткова вялікія, каб сваёй гравітацыяй утримліваць атмасферу. А гравітацыя – крытычная важны фактар заселенасці: без яе выпраменяванне бацькоўскіх зорак і метэарыты знішчаць усё жывое на паверхні.

Гэтак, найболей перспектывныя варыянт, калі мы гаворым пра параметры планетаў, – планетарныя целы, як нашая Зямля або Марс. Але чаму тады на Марсе не знайшлі прыкметаў жыцця? Найбольш просты адказ – разрэджаная атмасфера і адсутнасць магнітнага поля. Марс – тэктанічна мёртвая планета, пазбаўленая магнітасферы, праз што вада пад дзеяннем касмічнага выпраменявання праста выпарылася. Гэта пазбавіла планету магчымасці з'яўлення на ёй складаных арганічных малекулаў і, такім чынам, жыцця. Таму планеты накшталт бязводнага Аракісу наўрад ці акажуцца гасцінныя для зараджэння жыцця і тым больш чалавецтва.

Аднак, мяркуючы з паверхневых пародаў, некалі на Марсе назіралася вулканічная актыўнасць: патокі лавы расцякаліся па паверхні і застывалі. Такі тып ландшафту засяроджаны вакол





Зміцер Канановіч | astrobin.com

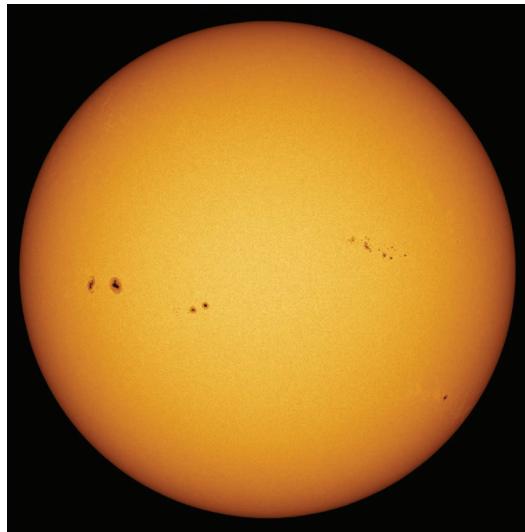
марсіянскіх вулканаў. На канцах лававых патокаў назіраюцца структуры, падобныя да зямных ападковых пародаў. Магчыма, гарачая патокі распальвалі падземныя льды, што прыводзіла да з'яўлення шырокіх вадаёмаў. Тым не менш Марс застаецца чырвонаю пустэльню, пазбаўленую любых прыкметаў жыцця.

Адным з варыянтаў магчымасці жыцця могуць быць суперземлі. У рэчаіснасці такія планеты існуюць: маса гэтых гігантаў перавышае масу Зямлі, аднак яна меншая за масу Нептуна. Суперземлі адсутнічаюць у нашай сістэме і былі выяўленыя нядаўна. Пакуль што дакладных крытэраў для іх няма, але калі такая планета – у зоне заселенасці і валодае падобнымі з Зямлёю характарыстыкамі, то цалкам можа быць заселеная. Аднак вялікія памеры могуць перашкодзіць суперземлі пазбавіцца першаснай вадароднай атмасфери, і жыццё на іх не будзе магчымае.

Атмасферны пласт на паверхні і геамагнітная актыўнасць – таксама неабходныя інгредыенты для стварэння камфортных умоваў праходжання біяхімічных рэакцыяў ды існавання любых формаў жыцця. Акрамя таго, атмасфера калібрае перапады тэмпературы на паверхні планеты, памяняшаючы ваганні ў некалькі разоў. Створаны ёю спрыяльны парніковы эффект гэтак жа падтрымлівае ваду ў вадкім стане: на разрэджаным Марсе сярэдняя тэмпература складае прыблізна мінус 63 °C, у той час як на Зямлі – 14 °C цяпла.

Не менш важныя фактары для існавання жыцця – уласцівасці зоркі-гаспадыні і век планеты. Досыць старая планета валодае патрэбным запасам часу для фармавання і развіцця на ёй бялкоў, ліпідаў і нуклеіnavых кіслотаў – складаных арганічных злучэнняў, неабходных для з'яўлення жыцця. Пры гэтым матчына свяціла павінна быць дастаткова яркім, каб планета і арганіка атрымлівалі аптымальную колькасць энергіі. Але недастаткова магутным, каб ультрафіялет не пашкодзіў малекулаў. Уласна ж зорка не павінна быць масіўная, бо кароткі тэрмін яе існавання не дасць патрэбнага запасу часу для развіцця заселенасці на планете.

Сонца – зорка спектральнаага класу G, месціцца ў галоўнай паслядоўнасці дыяграмы Гэрцшпрунга – Расэла (*Hertzsprung – Russell*). Будучы жоўтым карлікам, нашая зорка характарызуецца ашчадным выпраменьваннем і працяглым



Сонца | Зміцер Канановіч | [astrobin.com](http://astrobin.com)

перыядам жыцця – каля 10 мільярдаў гадоў. Цяпер Сонца – у сярэдзіне свайго цыклу развіцця, яна паступова павялічваецца і награваеца, каб аднойчы ператварыцца ў чырвонага гіганта. Пасля гэтага вонкавая абалонка зоркі зробіцца планетарнаю туманнасцю, а ядро – белым карлікам.

Буйныя зоркі часта валодаюць вялікім запасам рэчыва ў сабе. Аднак імавернасць з'яўлення жыцця ў іх сістэмах вышэйшаю не робіцца: часта тэрмін іх існавання закароткі нават для стадыі прэбіятычнае хіміі на паверхні планетаў у зоне заселенасці. Аднак зоркі гэтага тыпу ў працэсе сваёй эвалюцыі становяцца звышновымі і такім чынам бяруць удзел у стварэнні іншых касмічных целаў. Планеты з некалькімі сонцамі, як Крэматорыя, праз заўсёдную асветленасць гублялі б неабходны начны прамежак часу: гэтыя гадзіны таксама важныя для біяхімічных працэсаў, як і ўдзень. А сукупнае выпраменьванне свяцілаў, хутчэй за ўсё, зробіць такія светы стэрильнымі.

Згодна з некаторымі навуковымі даследаваннямі, найбольш прыдатны тып зорак для існавання жыцця – зоркі спектральнага класу *K*: меншае масы за Сонца, якія маюць больш працяглы цыкл эвалюцыі, дзякуючы чаму планеты могуць правесці больш часу ў межах іх зоны заселенасці. З улікам адносна стабільнае спектральнае свяцільнасці (зорка доўгі час выпраменьвае роўную колькасць іанізавальнай энергіі) пасля пераходу на галоўную паслядоўнасць мяркуеца, што *K*-карлікі з большай імавернасцю могуць прымати ў сябе прыдатныя для жыцця планеты, чымся Сонца ці *M*-карлікі.

Ведаючы аптымальныя характеристыстыкі планеты і зоркі, варта ўдакладніць яшчэ адзін фактар, які злучае паміж сабою гэтыя касмічныя целы. Гаворка пойдзе пра зоны заселенасці. Гэта вобласці вакол свяціла, усярэдзіне якіх вада можа быць у вадкім агрэгатным стане, а выпраменьванне бацькоўскае зоркі не смяротнае. Менавіта ў такіх зонах жыцця фармуеца найвялікшая колькасць жыццяздольных планетаў. Вадкі стан вады – каталізатор жыццёвых працэсаў, на планете-тундры (як вышэй згаданы Гот) нізкая тэмпература і лёд не дадуць існаваць нават самым простым формам жыцця. Шэраг даследнікаў выстаўляе гіпотэзу пра існаванне ультрафіялетавых зонаў заселенасці. У такіх зонах, як мяркуюць аўтары, пры дастатковай інтэнсіўнасці выпраменьвання і эффектыўнай тэмпературе ад 3900К планеты атрымліваюць дастаткова энергіі для запуску абіягенетычных працэсаў узнікнення жыцця, як цыянасульфідны протаметабалізм.



Юпітэр | Зміцер Канановіч | [astrobin.com](http://astrobin.com)

Фармуючыся, планеты могуць міграваць, што як павышае, гэтак і зніжае іх шанцы на заселенасць. Перамяшчэнне газавых гігантаў, супастаўных памерам з Юпітэрам, бліжэй да зоркі ператварае іх у «гарачыя юпітэры». Такія планеты не могуць фармавацца на малой адлегласці ад бацькоўскае зоркі праз высокую тэмпературу. Падобная ситуацыя можа адбывацца і з планетамі кшталту Зямлі: перасоўванне з зоны заселенасці зменіць агрэгатны стан вады, колькасць атрыманай энергіі ды парніковы эффект у атмасферы. Гэта, у сваю чаргу, прывядзе да смерці ўсяго жывога.

Для ўзнікнення жыцця на планете (і стварэння спрыяльных для зямных арганізмаў умоваў), акрамя вады, сонечнага цяпла і атмасфери, патрабуеца



Месяц | Зміцер Канановіч | astrobin.com

наяўнасць пэўных хімічных элементаў. Гэта сера, фосфар, кісларод, азот, вуглярод і вадарод – асновы зямной біяхіміі. На нашай планете 99 % масы жывога рэчыва складаецца менавіта з гэтых шасці элементаў. Вадарод і кісларод прысутнічаюць у вадзе, разам з вугляродам яны існуюць у вугляводах і нуклеінавых кіслотах. У групоўцы з вугляродам і вадародам азот і сера ёсьць у бялках. Фосфар можна знайсці ў або адэназін-трыфосфарная кіслата (АТФ) – біялагічнай батарэйцы ўсяго жывога. Менавіта таму наяўнасць гэтых элементаў – адно з важных патрабаванняў для заселенасці. Тым не менш арганіка на Зямлі можа апынуцца не асабліва тыповаю для заселеных планетаў.

Не меншую ролю ў заселенасці адыгрываюць і арбіタルныя спадарожнікі планетаў: напрыклад, Месяц сваёй гравітацыяй стабілізуе нахіл зямной восі. Менавіта дзякуючы гэтаму на Зямлі назіраецца ўстойлівы клімат. Без Месяца вось планеты мянялася б стала і хаатычна, прыводзячы да зменаў клімату. Такія ўмовы могуць перажыць экстрэмальныя мікраарганізмы, але не найвышэйшыя формы жыцця. Спадарожнікі могуць не толькі стабілізаваць планету, але і уплываць на прылівы і адлівы, устойлівасць клімату, абараняць ад астэроідаў і метэарытаў. Таму знішчаць планеты, як гэта рабілі героі *Star Wars*, – вельмі небяспечны занятак.

Апошні з пералічаных фактараў – наяўнасць некалькіх планетаў у зорнай сістэме: Зямля застаецца ў адноснай бяспечы за кошт моцнае гравітацыі Юпітэра, якая адцягвае на сябе метэарыты і абараняе ад бамбавання нябеснымі целамі паверхню планеты. Тэарэтычна гэта датычыць і іншых планетаў. У такім выпадку гэтыя зорныя сістэмы валодаюць вялікімі шанцамі на заселенасць. Акрамя таго, камп'ютарнае мадэляванне дэманструе: пры фармаванні Юпітэра выкідваў больш вады, чымся атрымліваў. Калі б ён быў меншы, то Зямля магла б застацца без вады на паверхні. Пры такім пазітыўным уплыве на іншыя планеты газавых гігантаў часам называюць добрымі юпітэрамі.

На момант верасня 2023 году вядомыя 5500 экзапланетаў, і спіс папаўняецца. Першыя сур'ёзныя пошуки новых планетаў пачаліся яшчэ ў канцы XX стагоддзя. Знаходкамі астрономаў у той час сталіся ў асноўным газавыя гіганты. Цяпер з дапамogaю розных метадаў знаходзяцца акіянічныя светы, газавыя карлікі і суперземлі. Ёсьць планеты, заўсёды

павернутыя да зоркі толькі адным бокам. А ёсць планеты, якія пажыраюцца родным свяцілам: відавочна, гэта не найлепшыя кандыдаты на званне двайніка Зямлі. Ці ёсць месцы, збольшага прыдатныя для пражывання на іх? У пошуках камфортных для зямнога жыцця планетай ужываюць індэкс падабенства Зямлі (*Earth Similarity Index, ESI*) - індэкс прыдатнасці планеты або спадарожніка для жыцця. Ён разлічваецца на аснове параўнання кліматычных і геаграфічных умоваў нашае планеты з умовамі на

іншых планетах і спадарожніках. У *ESI* выкарыстоўваюць шкалу ад 0 да 1, дзе 0 – абсалютна не прыдатная для жыцця планета, а на 1 ацэненая толькі Зямля. Аднак нават высокая ацэнка планеты не гарантует яе перспектывунасці: Марс мае азначнік 0,7, але пазбаўлены атмасферы, вадкае вады і дастаткова халодны. Тым не менш астрономы разглядаюць *ESI* як адзін з асноўных інструментуаў вызначэння заселеных (або габітатных, ад лац. *habitat*) светаў. Сярод найбольш перспектывных вылучаюць:

Назва	<i>ESI</i>	Планетарны клас	Клас насельніцтва / <i>PHI</i>	Год адкрыцця
<i>Kepler-438b</i>	0.88	Зямля М-карліка	Мезапланета*	2015
<i>Gliese 667 Cc</i>	0.84	Зямля М-карліка	Мезапланета	2011
<i>Kepler-442b</i>	0.84	Зямля К-карліка	Мезапланета	2015
<i>Kepler-62e</i>	0.83	Суперземля К-карліка	Мезапланета	2013
<i>Gliese 832 c</i>	0.81	Суперземля М-карліка	Мезапланета	2014

\* мезапланетамі называюцца нябесныя целы з тэмператураю 0–50 °C на паверхні, што найбольш спрыяе складанаарганізаванаму жыццю

Існуе другая сістэма ацэнкі прыдатнасці – індэкс заселенасці планеты (*Planetary Habitability Index, PHI*). Ён характарызуе імавернасць існавання жыцця на планете і ўлічвае дадатковыя фактары: тып паверхні планеты (скалістая або лёдадавая), наяўнасць атмасферы і магнітнага поля, колькасць энергіі, даступнай для патэнцыйных арганізмаў (святло зоркі або прыліўнае трэнне, якое разагравае нетры), наяўнасць арганічных злучэнняў і якога-небудзь вадкага растворальніку для арганікі. Два індэксы вельмі адносныя і ўвесе час удасканальваюцца. У варыятыўнасці вялікае колькасці фактараў, якія ўпłyваюць на перспектывунасць засялення планеты, яны ўпараткоўваюцца і палягчаюць пошуки найбольш гасцінных нябесных целаў.

Разуменне мноства фактараў, якія ўпłyваюць на заселенасць планетай, – ключ да знаходжання новага дому. Наўрад ім апыненца прamerзлая планета, дзе вада на паверхні ўяўляе сабою лёд. Або вулканічны свет, пазбаўлены вады зусім. А калі ўся планета пакрытая вадою, ці можа на ёй з'явіцца развітае жыццё і ці здолее чалавечства на ёй асвоіцца? Малаімаверна. А наяўнасць цвёрдае глебы - пакуль што адна з галоўных прыкметаў біялагічнай эвалюцыі на планете. А што ж тады да трапічных планетай-садоў, як у фантазіях Кэмэрана?

Магчыма, такія светы чалавек можа знайсці і асвоіць у далёкай будучыні, аднак пытанне знаходжання настолькі біялагічна развітых планетай застаецца пад сумневам. Пакуль нам застаецца толькі здалёк назіраць за патэнцыйнымі светамі, дзе аднойчы чалавечства можа знайсці новы дом і галактычных суседзяў.

Пры напісанні выкарыстоўваліся навуковыя крыніцы астрабіялагічнага кірунку. Ніжэй – спіс працаў, якія дапамогуць заглыбіцца ў тэму артыкулу:

«Астробиология. Очень краткое введение» Дэвид Кэтлинг 2013, ISBN 978-0-19-958645-5

«Common origins of RNA, protein and lipid precursors in a cyanosulfidic protometabolism» Patel, B. H., Percivalle, C., Ritson, D. J., et al. 2015, Nature Chemistry, 7, 301. doi:10.1038/nchem.2202.

«Superhabitable Worlds» Heller René and Armstrong John. Astrobiology. January 2014, 14(1): 50-66. doi:10.1089/ast.2013.1088.

«The ultraviolet habitable zone of exoplanets» R. Spinelli et al., 2023 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, doi:10.1093/mnras2023

0110010100101010  
011010101010101000  
01011010101010100110  
11000101010101010110  
10010101010101010110

# ПАЧАТАК ЭРЫ КВАНТАВЫХ КАМП'ЮТАРАЎ

Вольга Окрут

+ -

Ідэя і аўтарства ілюстрацыі  
A. MIPO

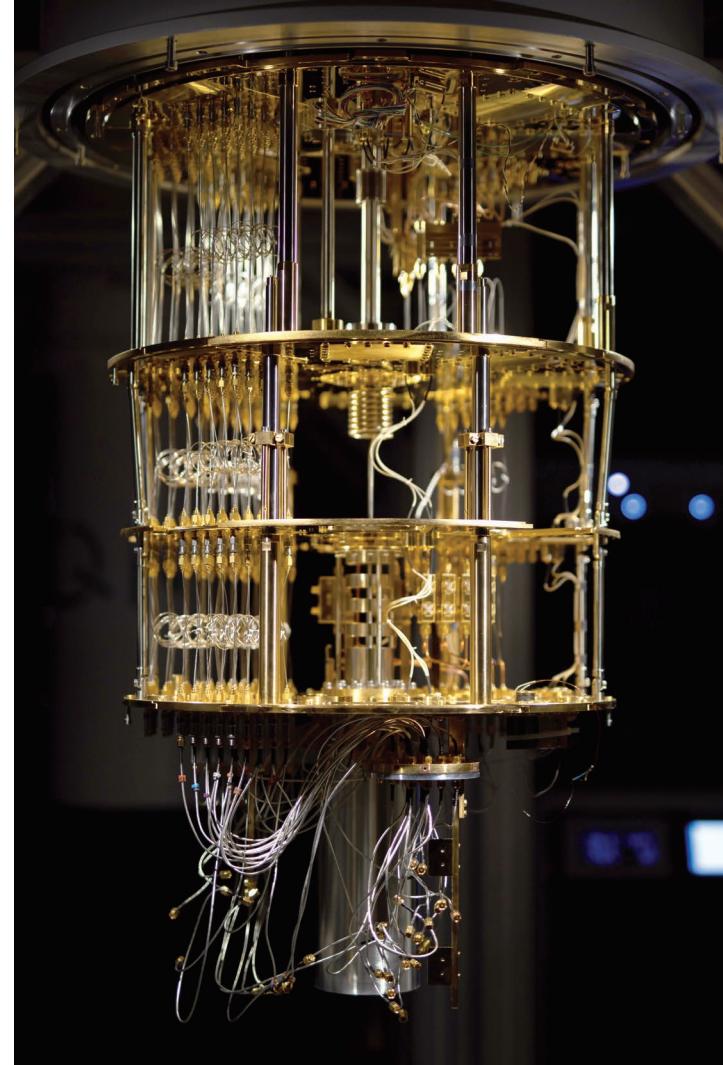


Квантавыя вылічальныя машыны з'явіліся адносна нядайна. Першы квантавы камп'ютар быў створаны ў 1998 годзе навукоўцамі IBM, Масачусэцкага, Стэнфордскага ўніверсітэтав і Універсітэту Бэрклі. Крыху раней адмислоўцы Оксфордскага ўніверсітэту таксама зарэгістравалі свае поспехі ў эксперыментах для стварэння і выкарыстання першых

**1** квантавых камп'ютараў<sup>1</sup>. Не зважаючы на то, што гісторыя гэтых машынаў толькі пачынаецца, яны ўжо сёння цікавіць фізікаў, навукоўцаў камп'ютарных тэхналогій, хімікаў, матэматыкаў, а таксама... заканадаўцаў. Эксперты ўпэўненыя: квантавыя камп'ютары здольныя выконваць вылічэнні значна хутчэй за звычайнія, дазволяць выяўляць новыя рашэнні ў фізіцы, хіміі ды біялогіі, адкрываць новыя лекі, а таксама аптымізаваць такія задачы ў лагістыцы, як дастаўка і транспартаванне рэчаў.

Аднак чалавецтва нясе адказнасць за разумнае выкарыстанне гэтых тэхналогій. Напрыклад, заканадаўцы ў розных краінах ужо прызналі, што квантавыя камп'ютары могуць хутка расшыфраваць паролі да банкаўскіх рахункаў альбо разумець камунікацыю паміж рознымі звычайнімі камп'ютарамі. Каб абараніць асабістую інфармацыю, урады некаторых краінаў рэкамендуюць выкарыстоўваць постквантавую крыптаграфію (*post-quantum cryptography*). Гэта спецыяльныя алгарытмы, якія гэтак будуюць інфармацыю, што расшыфраваць яе квантаваму камп'ютару даволі складана альбо практычна немагчыма. Напрыклад, згодна з тэарэтычнымі вылічэннямі, квантавыя камп'ютары здольныя расшыфраваць нашыя звесткі і камунікацыю за секунды, у адрозненне ад звычайніх камп'ютараў, якім трэба гадзіны ці дні. Але я не планавала пужаць чытача такімі навінамі. Тэхналогія квантавых камп'ютараў толькі пачынаюць з'яўляцца, і пакуль гэтыя машыны не здольныя расшыфраваць асабістых звестак. Акрамя таго, навукоўцы ў галіне звычайніх камп'ютараў працујуць над стварэннем новых алгарытмаў шыфравання, якіх квантавыя камп'ютары не будуць здольныя раскадаваць.

Іншы цікавы прыклад магчымасцяў квантавых камп'ютараў - эксперымент ад Google Quantum AI ў 2019 годзе (*Google Quantum Supremacy Experiment*). Паводле навуковае публікацыі ад Google Quantum AI, квантавы камп'ютар здольны быў решыць задачу за 200 секундаў, у той час як звычайному суперкамп'ютару рашэнне такое праблемы заняло б



Ragsxl | wikipedia.org

прыблізна 10 000 гадоў! Вынікі ўражваюць і паказваюць магчымасць квантавых камп'ютараў, аднак варта заўважыць, што гэта была задача даказаць канцепцыю (то бок не звязаная з рашэннем реальных праблемаў)<sup>2</sup>.

Аднак што робіць квантавыя камп'ютары настолькі хуткімі і чым яны адрозніваюцца ад звычайніх? Адказ на гэтыя пытанні - у слове «квантавы»: вылічэнні адбываюцца згодна з законамі квантавае механікі, якая кіруе атамамі ды электронамі. Гэта настолькі маленькая аб'екты, што мы не можам іх разгледзець без дапамогі адмысловых прыладаў.

Адна з мадэляў працы квантавых камп'ютараў - выкарыстанне электронай у атамах. Кожны атам складаецца з ядра і аднаго ці больш электронаў, якія арбітруюць ядро. Чытач можа згадаць нашую планету, якая варочаецца вакол Сонца. Зямля - трэцяя планета ад Сонца, за ёю ідзе Марс. Мы можам казаць, што нашая планета - на першай арбіце альбо



на першым энергетычным роўні, а Марс – на другім. Калі мы захочам перамясяціць нашу планету на арбіту Марсу, нам спатрэбіцца шмат энергіі. Ясна, што мы не можам гэтага зрабіць, але мы можам выкарыстоўваць гэтыя ўяўленні для тлумачэння працы квантавых камп'ютараў. Уявіце сабе, што вы маецце атам вадароду, адзін з самых простых і распаўсюджаных хімічных элементаў. Просты, бо складаецца з аднаго электрона, які арбітруе ядро. Напрыклад, атам золата мае 79 электрону! Пасвяціўшы на атам вадароду, мы дадамо дастаткова энергіі электрону, каб ён здолеў перайсці на другую арбіту, альбо энергетычны ровень. Навукоўцы наўчыліся выкарыстоўваць гэтыя з'явы, каб рабіць вылічэнні. Гэтак, у звычайных камп'ютараў адзінка інфармацыі – гэта біт, нешта, што можа прымець значэнні 0 альбо 1. Напрыклад, прысутнасць току ў правадніку – гэта 1, а яго адсутнасць – 0. У квантавых камп'ютараах адзінка інфармацыі – кубіт, або квантавы біт (*qubit*, або *quantum bit*). Калі электрон – на першым энергетычным роўні, то мы маем  $|0\rangle$ . Калі дадамо энергіі гэтаму электрону, то ён здолеў перайсці на другі энергетычны ровень. Такі стан электрона пазначаецца  $|1\rangle$ . Навукоўцы выкарыстоўваюць  $|>$ , каб адразніць кубіт ад класічнага біта. Калі мы возьмем тысячи такіх атамаў і пачнём маніпуляваць імі, у нас атрымаецца квантавы камп'ютар!

Але на гэтым аналогіі заканчваюцца. Калі мы гаворым пра тое, як нашая планета варочаецца вакол Сонца, то мы можам выкарыстоўваць законы Ньютона, або законы класічнае механікі. Аднак маленкія часціцы, атамы ды электроны, жывуць паводле іншых законаў – законаў квантавае механікі. Першая адрозненне, якое дазваляе квантавым камп'ютарам рабіць вылічэнні хутчэй, – гэта прынцып суперпазіцыі (*superposition principle*). Калі ў звычайных камп'ютараах мы заўжды можам адназначна вызначыць стан 1 ці 0, то ў квантавых камп'ютараах электрон можа адначасова прымець значэнні  $|0\rangle$  і  $|1\rangle$ . У гэтым сэнсе навукоўцы кажуць, што стан атама – лінейная камбінацыя  $|0\rangle$  і  $|1\rangle$ , і пішуць:

$$|\text{стан атама}\rangle = \alpha|0\rangle + \beta|1\rangle.$$

Аднак як такое магчыма? Фізікі жартуюць, што атам не здольны вызначыцца (*atom can not make up its mind*). Наступны парадокс у тым, што атам здольны вызначыцца, як толькі мы на яго паглядзім,

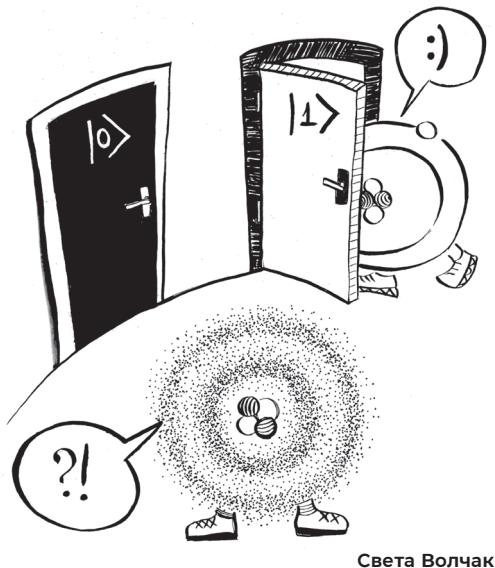


Светла Волчак

то бок зробім вымярэнні. Гэтае правіла атрымала назыву «пастулат вымярэння» (*measurement postulate*). Згодна з пастулатам вымярэння, паглядзеўшы на атам, мы вымушаем яго вызначыць свой стан –  $|0\rangle$  ці  $|1\rangle$  – з нейкай імавернасцю. Напрыклад, калі стан атама

$$|\text{стан атама}\rangle = 0.3|0\rangle + 0.7|1\rangle,$$

гэта азначае, што, калі мы паглядзім на атам (зробім вымярэнне), з найбольшай імавернасцю ён пастановіць быць у стане  $|1\rangle$ , чымся ў стане  $|0\rangle$ . Аднак атам усё роўна можа быць у стане  $|0\rangle$ , але не так часта, як у стане  $|1\rangle$ . Калі паглядзім на 1000 атамаў з станам  $0.3|0\rangle + 0.7|1\rangle$ , то 300 з гэтых атамаў пастановяць быць у  $|0\rangle$ , 700 атамаў пастановяць быць у  $|1\rangle$ . Чытач можа заўважыць, што ў майім прыкладзе  $\alpha = 0.3$  і  $\beta = 0.7$  мае сэнс імавернасцяй. Сума імавернасцяў будзе адзінкаю:  $\alpha + \beta = 0.3 + 0.7 = 1$ . Калі гэта больш зручна, мы таксама можам казаць, што 30 % атамаў – у стане  $|0\rangle$ , 70 % – у стане  $|1\rangle$ .



Светла Волчак

На гэтым парадоксы не заканчваюцца. У той час як у звычайных камп'ютараў розныя біты (адзінкі і нулі) не залежаць адзін ад аднаго, у квантавых камп'ютараў станы розных атамаў могуць быць заўсячаныя. Фізікі называюць такія часціцы заблытанымі (*entangled*). Напрыклад, калі мы маем дзве розныя часціцы і ўпэўненыя, што яны заблытаныя, то, паглядзеўшы на адну з іх, мы можам вызначыць стан другой.

Адзін з прыкладаў заблытаных станаў – стан Бэла, названы ў гонар фізіка Джона Бэла (*John Bell*). Адзін з станаў Бэла (усяго іх чатыры) запісваецца наступным чынам:

$$\frac{|01\rangle + |10\rangle}{\sqrt{2}}$$

Такі запіс азначае, што ў нас ёсьць два заблытаныя кубіты (апісваюць стан часціцы). Але, паглядзеўшы на першы з кубітаў і ўбачыўшы яго стан  $|1\rangle$ , мы дакладна можам казаць, што стан другога кубіта –  $|0\rangle$ . Мы можам аднолькава прагназаваць і другі кубіт. Напрыклад, калі паглядзім на другі кубіт і ўбачым, што яго стан  $|0\rangle$ , мы ведаєм, што стан першага кубіта будзе  $|1\rangle$ . Пррапаную чытачу самастойна вызначыць, што будзе з другім кубітам, калі мы ўбачым першы ў стане  $|0\rangle$ .

Суперпозіцыя дазваляе квантавым камп'ютарам выконваць мноства вылічэнняў паралельна, што робіць іх хутчэйшымі ў рашэнні задачаў. У той час як заблытанасць дазваляе імгненна перадаваць інфармацыю паміж заблытанымі кубітамі. Калі кубіты заблытаныя, змяненне аднаго імгненна ўплывае на стан другога, незалежна ад фізічнай адлегласці

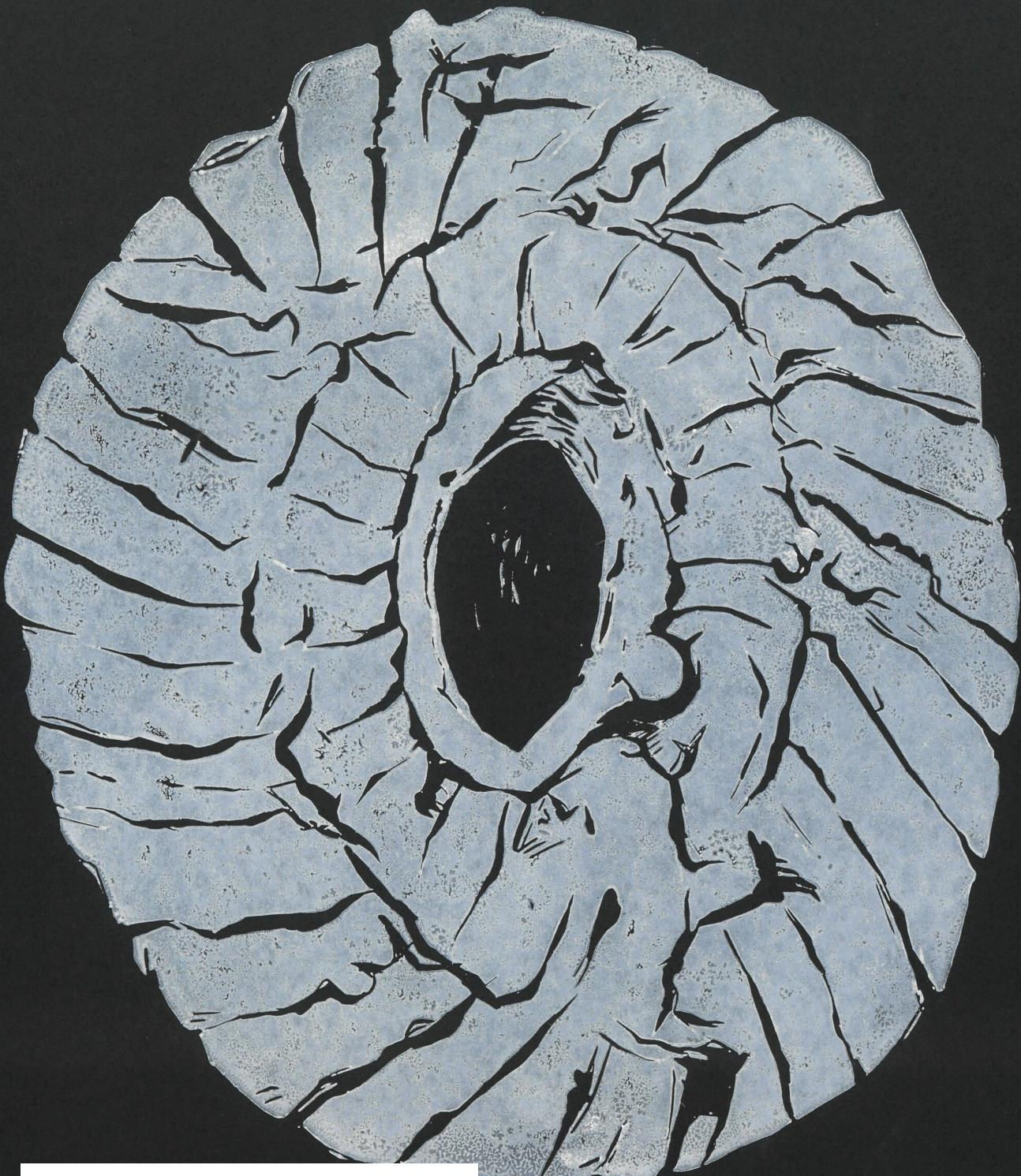
паміж імі (кубіты могуць быць на вялізной адлегласці, але ўсё роўна яны разумеюць стан адзін аднаго). Гэтыя ўласцівасці дазваляюць квантавым камп'ютарам выконваць складаныя вылічэнні, з якімі звычайнія камп'ютары з цяжкасцю далі б рады.

Шмат якія кампаніі ды арганізацыі маюць на мэце стварыць надзеі на квантавыя камп'ютары. Сярод іх – *IBM Quantum*, *Google*, *Microsoft*, *D-Wave Systems* ды іншыя. Такія прылады каштуюць тысячи і мільёны долараў. Яны вялізарныя і патрабуюць асаблівага догляду ды аблуговувацца, як гэта было са звычайнімі камп'ютарамі пры іх стварэнні. Але ў нашыя дні сучасныя тэхналогіі дазваляюць атрымаць доступ да квантавых камп'ютараў праз воблачныя сэрвісы. Напрыклад, *IBM Quantum* дазваляе наўкоўцам і энтузіястам з усяго свету гэтак выкарыстоўваць іх квантавае абсталяванне. Калі хтосьці мае ідэю для алгарытму, ён можа праверыць сваю ідэю без неабходнасці купляць квантавыя камп'ютары. Болей за тое, *IBM Quantum* дазваляе выкарыстоўваць іх машыны бясплатна ў выпадку, калі наўкоўцу патрэбная невялікая колькасць кубітаў.

**Усе меркаванні і погляды мае ўласныя і не адлюстроўваюць меркавання цяперашніх, мінульых або будучых працадаўцаў.**



Светла Волчак



**СВЕТ З  
ПРЫІВІДАМІ**

АўТАРКА ТЭКСТУ і ВЫЯВАЎ  
Стася з-пад Вільні



Калі вы думаеце, што нафта складаецца з целаў дыназаўраў, не саромейцеся сваёй памылкі. Я таксама так думала. Або нават не думала. Не-думала. Бо гэтаму не вучачь у школах. У школах нафта - паліва, сырэвіна, рухавік эканомік. У жыцці нафта - смерць. Або жыццё пасля смерці. Або, дакладней, смерць пасля смерці.

Так, я люблю гуляцца са словамі. Мо таму некалі я не абрала экалогіі пры паствуленні ва ўніверсітэт. Хоць экалогію я таксама заўсёды любіла, і палеанталогію, і хімію. Але ў выніку я мастачка, якая па-ранейшаму любіць навукі і даследаванні. Адно што ў мастацкіх даследаваннях я больш вольная плаваць паміж дысцыплінамі без межаў (бо межы - каланіяльная фікцыя) і змешваць фізіку, псіхалогію, эканоміку, экалогію, містыку і палеанталогію. А яшчэ ў мяне ёсць таемная супермоц: я не баюся памыляцца, і таму не баюся лезці ў навукі, у якіх я не маю дыпломнае ступені. Мастацтва не баяцца памылак.

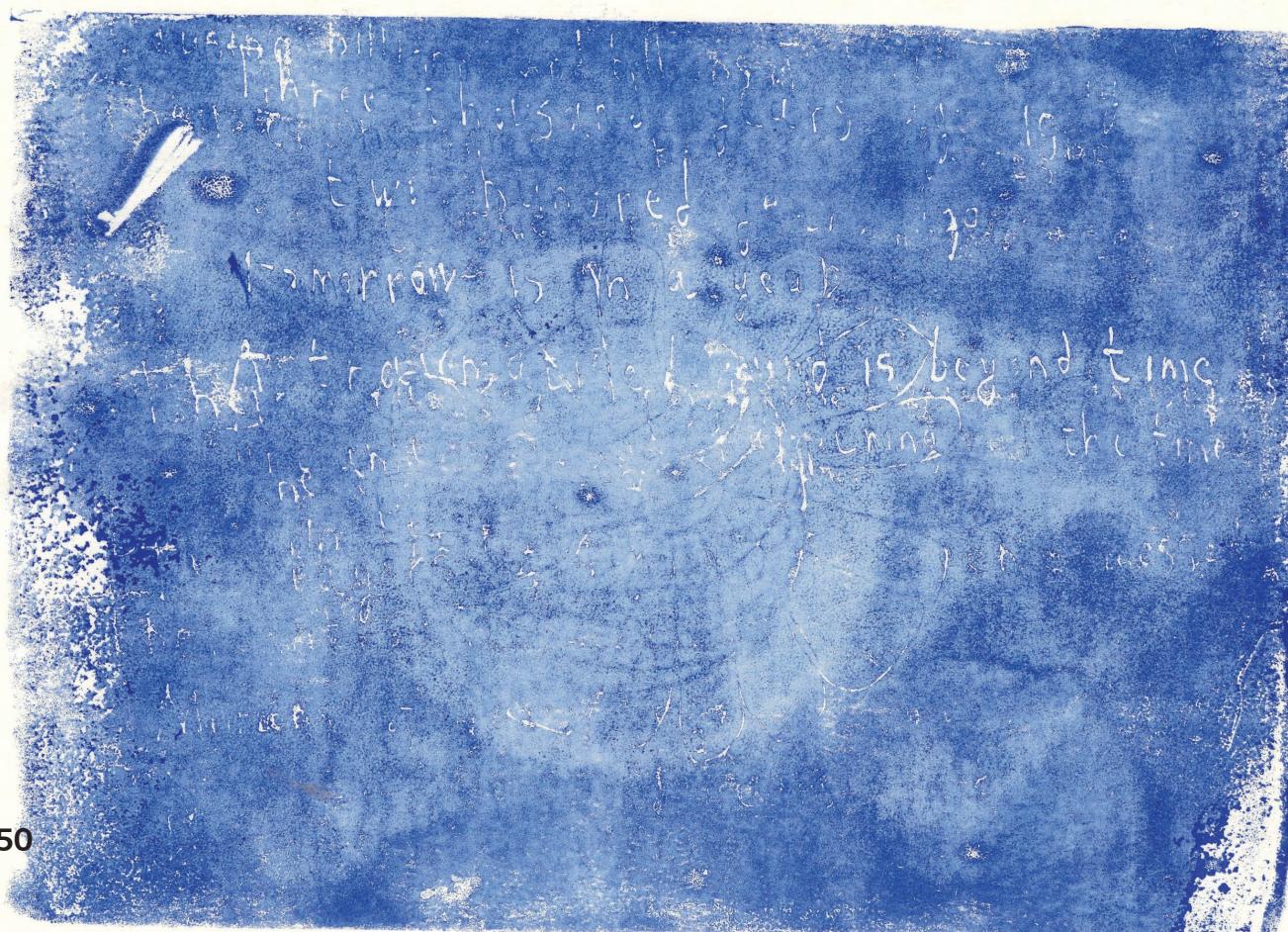
### Дыназаўры, планктон і чорная энергія сонца

Какалітафарыды - гэта від фітапланктона, што ўпершыню з'явіўся падчас позняга трыясавага перыяду (прыблізна 237-201 мільён гадоў таму, перад пачаткам больш знакамітага юрскага перыяду). Асаблівасць какалітафарыдаў у тым, што яны ствараюць вапнавыя пласцінкі

(какаліты) вакол сваіх клетак. Гэтыя пласцінкі абараняюць ад ультрафіялетавае радыяцыі ды драпежнікаў (калі гэтак можна назваць іншыя аднаклетковыя арганізмы, бо ад рыбаў гэта не абароніць).

Вапна ( $\text{CaCO}_3$ ) складаецца з малекулаў кальцыю, вугляроду і кіслароду. Адпаведна, каб стварыць какаліты, какалітафарыды адфільтрувалі з вады малекулы вугляроду. Таго вугляроду, які пры сувязі з дзвюма малекуламі кіслароду спрычыняеца да глабальнага пацяплення. Гэтак какалітафарыты - праз стварэнне вапнавых пласцінак і фотасінтэз - кантроліявалі кіслотнасць вады ў акіяне і канцэнтрацыю  $\text{CO}_2$  у атмасферы (пры высокай канцэнтрацыі  $\text{CO}_2$  кіслотнасць вады павышаецца, а пры нізкіх вада лічыцца больш лужнаю, ці шчолачнаю). Калі надыходзіў час паміраць, яны асадалі на дно акіяну і такім чынам выводзілі вуглярод з актыўнага ўзаемадзеяння з атмасферай. Іх жыццё і смерць рабілі атмасферу больш прыдатнаю для жыцця і развіцця іншых арганізмаў.

Паводле навукоўцаў, з'яўленне какалітафарыдаў у трыясавым і іх распаўсюд у юрскім перыядзе паспрыялі таму, што эвалюцыя пайшла ў іншых кірунку. Да гэтага ваганні ў кіслотнасці акіяну перыядычна прыводзілі да масавых выміранняў. Большую частку гісторыі планеты арганізмы залежалі толькі ад



кліматычных змяненняў і пераменаў у наваколлі. Калі наваколле (і канцэнтрацыя CO<sub>2</sub>) зрабілася больш стабільным, іншыя крытэрыі сталі адыгрываць больш важную ролю: напрыклад, хуткасць і здольнасць знайсці ежу.

За мільёны гадоў, якія дыназауры насялялі Зямлю, мільярды пакаленняў планктону акумулявалі тоны вугляроду ў сваіх мікраскалічных целах. Калі яны не былі з'едзеныя іншымі організмамі і паміралі праз сталы век (некалькі дзён), то іхныя целы асядалі надноакіяну, дзе практична не было кіслароду. Праз адсутнасць кіслароду там не было і бактэрыяў, таму целы не раскладаліся. Яны перамешваліся з іншымі асадкамі і ляжалі на дне тысячагоддзяmi. За шмат мільёнаў гадоў – пры пэўных умовах – целы аднаклетковых організмаў ператварыліся ў кетаген, прадукт анаэробнага раскладання арганікі, і аказаліся пахаваныя пад кіламетрамі іншых асадкаў. Целы фітапланктону былі настолькі далёка ад сонца, што былі дастаткова блізка да цэнтра Зямлі, каб тэмпература іх асяроддзя была ў межах 60–120 °C. Ціск вады і іншых асадкаў, адсутнасць кіслароду, а таксама перебыванне ў досыць высокіх тэмпературах паспрыялі ператварэнню кетагену ў нафту. Гэты практэс заняў некалькі соцені мільёнаў гадоў.

Праз некалькі перыядоў глабальных выміранняў, незлічоную колькасць катаклізмаў і геалагічных змяненняў людзі пачалі ўжыванаць карысныя выкапні ў якасці паліва і сырэвіны. Карысныя выкапні – як вугаль і нафта – утрымліваюць значна большую канцэнтрацыю энергіі за іншыя матэрыялы. Умоўна, вуглярод у выглядзе нафты або вугалю больш скампрэсаваны і таму ўтрымлівае больш патэнцыйнай энергіі на кубічны метр, чымся, напрыклад, драуніна. Згодна з капіталізмам, чым менш выдаткаў і чым большая прадукцыянасць, тым лепей для бізнесу.

### Капіталізм, капіталізм і першы закон тэрмадынамікі

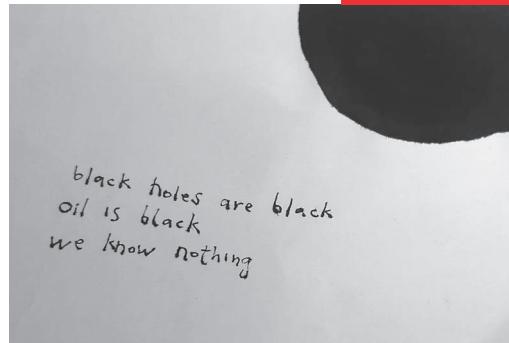
Але тут трэба зрабіць перапынак на кароткае тлумачэнне, чаму капіталізм і розныя мадэлі эканамічнага росту не працуяць. Мабыць, відавочна, што капіталізм – зло. Імкненне зрабіць найбольшыя прыбытак пры найменшых выдатках вядзе да шматлікіх парушэнняў правоў чалавека: дрэнныя ўмовы працы і мізэрныя заробкі як прыклад, калі не казаць пра экалагічную несправядлівасць, пры якой наступствы буйное прамысловасці і забруджання наваколля непрапарцыйна

больш упłyваюць на людзей з непрывілеяваных групаў. У той жа час прыродныя рэсурсы лічацца ўвогуле бясплатныя (апрача выдаткаў на заробкі і тэхніку, неабходныя для здабычы). Калі б чалавечства мусіла плаціць за мільёны гадоў працы, якія пайшли на тое, каб планктон стаўся нафтаю, нам забракала б грошай. Але было б лепшае ўяўленне пра каштоўнасць карысных выкапняў. Што да валавога ўнутранага прадукту (ВУП), які дасюль лічыцца паказнікам эканамічнага росту краінаў, то гэта нерэалістычная мадэль. Нішто не можа расці бясконца, усе рэсурсы маюць свае межы. Нафта хутка скончыцца, і расці больш не будзе куды. Апрача ўсяго іншага, ВУП не адлюстроўвае дабрабыту людзей. Атамная зброя можа быць паказнікам росту, у той час як медыцына, клопат пра іншых і валанцёрства застаюцца незаўажнія.

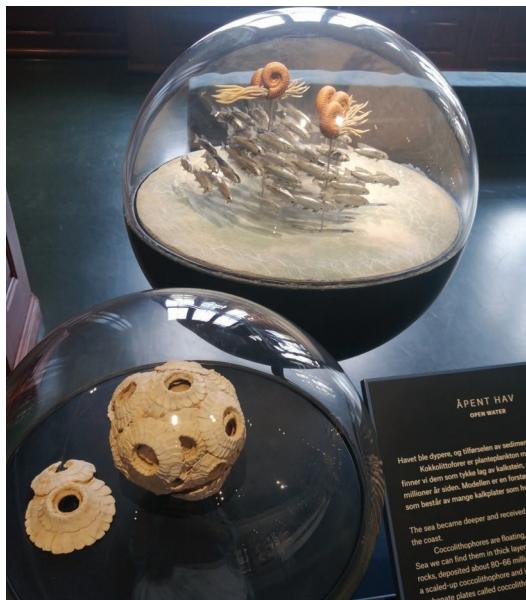
Дык што не так з эканамічным ростам як паказнікам дабрабыту краіны... з гледзішча фізікі? Першы закон тэрмадынамікі сцвярджае, што энергію немагчыма стварыць або знішчыць, яе можна толькі трансформаваць.

Класічны прыклад – фотасінтэз, пры якім расліны (і планктон у тым ліку) ператвараюць энергію сонечнага святла ў хімічна звязаную энергию ў выглядзе вугляроду. Энергія сонца не знікае, а трансфармуецца. Тоэ ж з матэрыяй: яна не можа ўзнікнуць зніадкуль. Зямля – закрытая сістэма для матэрыі (пакуль не прылягніць астэроід) і адкрытая для энергіі (сонечнае свято пранікае ў сістэму, а лішкі энергіі вяртаюцца ў космас, што рэгулюецца атмасферою планеты). Такім чынам бясконцы рост (чаго заўгодна) немагчымы, бо ён абмежаваны вычарпальнасцю фізічнае матэрыі на Зямлі. А значыцца, бясконцы эканамічны рост немагчымы, і рана ці позна ВУП перастане мець здольнасць павялічвацца, здарыцца эканамічны крызіс, каб скончыцца усе крызісы. Але, хутчэй за ўсё, першаю скончыцца нафта.

Праз гэты сліпы пункт, праз адсутнасць усведамлення каштоўнасці прыродных рэсурсаў адбываецца шмат гвалтоўных інтэрвенцыяў. Каштоўнасць нафты – утым, што яна мільёны гадоў захоўвала вуглярод вельмі глыбока пад зямлёю, вельмі далёка ад атмасфери. Але людзі кранулі магілы прашчураў і ўгнявілі іх.



Цяпер іхныя духі насяляюць усю планету. Гэта і метафара, і фізічная рэчаіснасць, у якой мы жывём. У самых забруджаных частках акіяну маса мікрапластыку ў шэсць разоў большая за масу планктону. Нанапластык памерам прыблізна такі ж, як мікрапланктон. Трансфармаваныя цэлы планктону з мезазою спаборнічаюць з сучасным планктонам за месца ў акіяне. Тым часам тэмпература планеты працягвае расці, штогод з'яўляюцца новыя прадукты на рынку, а 99 % людзей дыхае забруджаным паветрам. Духі ўгневаных прашчураў паўсюль.



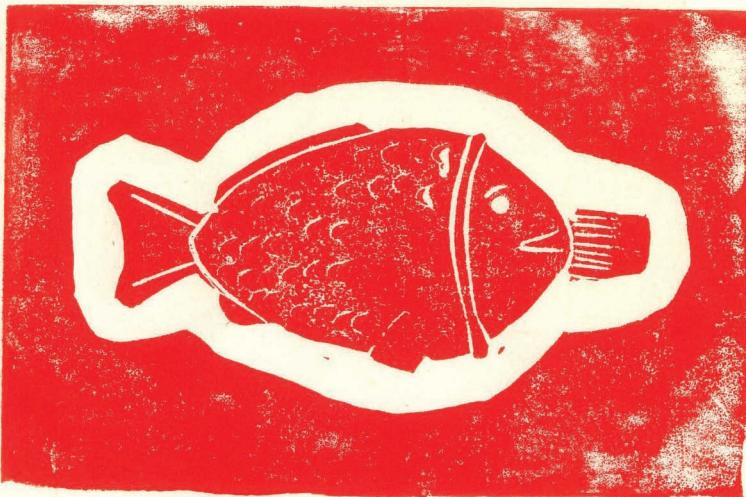
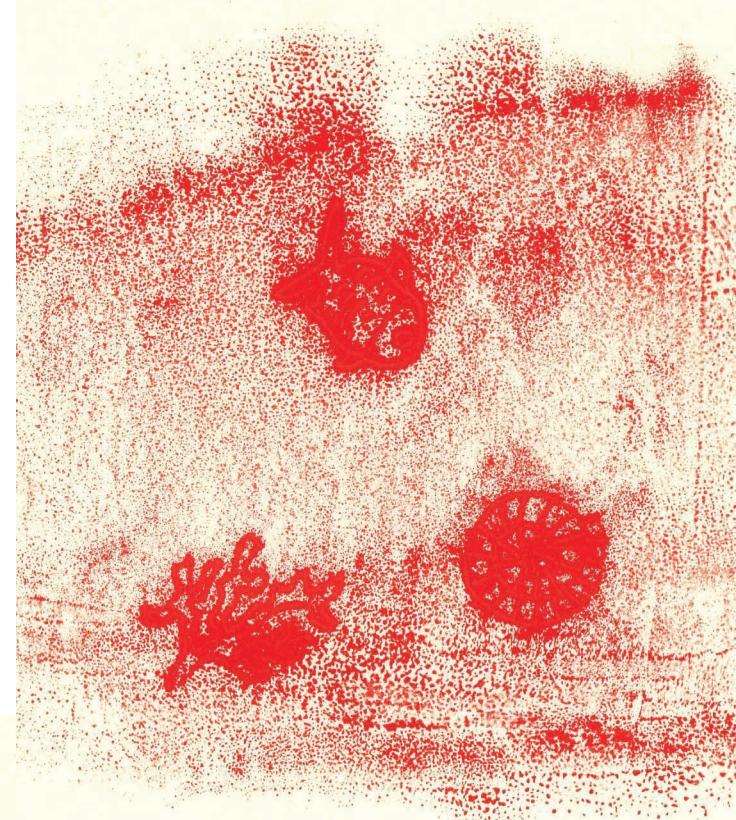
Фатаграфіі да артыкулу з архіву аўтаркі

## Гамлет, вандроўкі ў часе і траўма

Пры здабычы карысных выкапняў людзі вандруюць у часе. Крэйда, металы, вугаль, нафта - артэфакты з дагістарычнага часу. Каб пабудаваць дом, трэба дакапацца назад на некалькі тысячагоддзяў. Чым глыбей, tym далей назад у часе мы вандруем. Мы адкапалі столькі скарбаў і настолькі памянялі ландшафты, што Гамлет сказаў бы: век вывіхнуўся (*the time is out of joint*)<sup>1</sup>.

У сваёй уплытовай кнізе «Цела вядзе падлік» Бэсэл ван дэр Колк (*The Body Keeps the Score, Bessel van der Kolk*) даследуе

<sup>1</sup>У. Шэкспір. «Гамлет» (пераклад Юркі Гаўрука)

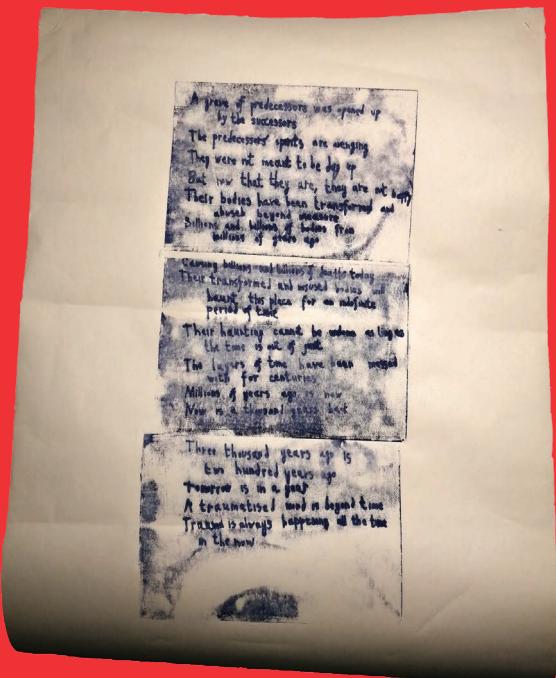


механізмы траўмы і спосабы яе пераадолець. Паводле Колка, «траўма - гэта не гісторыя нечага, што здарылася ў мінультым». Далей ён піша, што ў свядомасці асобы, якая не працаўала сваіх траўмай, флэшбэкі пражываюцца ў цяперашнім часе: пры траўматычных успамінах арганізм рэагуе гэтак жа, як калі б гэтыя падзеі адбываліся цяпер.

Фазы працаўвання траўмы прыблізна такія ж, як і пры іншых вялікіх эмацыйных зрухах: адмаўленне, торг, злосць, сум і прыніяцце. Яны могуць быць актуальныя не толькі ў тэрапіі, але і ў працаўванні траўмай нашае планеты. Адно што людзі як прычына траўмы мусяць прыйсці праз крыху іншыя фазы, або, дакладней, правільна папрасіць прабачэння: прызнаць сваю віну, не спрабаваць

знайсці іншых вінаватых, паабяцаць, што гэта не пайторыца (і выкананаць абязанне), а таксама пачаць залечваць шкоду. Мы не можам адрабіць траўмы, якую прычынілі наваколлю. Але гэта не азначае, што трэба апускаць руکі.

Траўму планетарнага маштабу не можа вылекаваць ніводная асoba. Аднак чалавецтва нездарма тысячагоддзямі жыло супольнасцяmi. Мы неймаверныя, і калектыўным разумам здольныя развязаць любую задачу. Нехта даследуе мікропланктон, нехта змагаецца з нераўнапраўем і гіганцкімі карпарацыямі, нехта распрацоўвае новыя тэхналогіі, а нехта даследуе гісторыю. Геніяў не існуе – існуюць супольнасці. А тым часам мікропланктон працягвае сваю калектыўную працу і сёння.



*Magilu продкаў успаролі нашчадкі,  
духі продкаў помсцяць:  
іх не мусілі выкопваць,  
але выкапалі, і цяпер яны пакутуюць.  
Іх целы змянялі і зневажалі страшэнна –  
шмат мільярдаў целаў, якім мільёны гадоў,  
сталі прычынай мільярдаў смерцяў,  
іх змененыя, зняважаныя целы не пакінуць зямлі ў спакоі.  
І гэта не спыніцца – **наш век вывіхнуўся**,  
пласты часу змяшаліся са стагоддзямі:  
мільён гадоў таму – гэта цяпер,  
цяпер – гэта тысяча гадоў таму,  
тыры тысячы гадоў ёсць дзвесце гадоў таму,  
заўтра – гэта праз год.  
Траўмаваная свядомасць – па-за часам,  
Траўма заўсёды ўжо адбываецца ў гэты момант.*

Суперакладніца вершу –  
Ганна Комар, паэтка, перакладніца

## Спіс літаратуры:

How Jurassic Plankton Stole Control of the Ocean's Chemistry | Quanta Magazine

«Ghost» Fossils Reveal Hidden Resilience of Marine Nannoplankton | American Association for the Advancement of Science (AAAS)

'Ghost' fossils reveal how oceans could be affected by climate change | Natural History Museum (nhm.ac.uk)

CP - Can morphological features of coccolithophores serve as a reliable proxy to

reconstruct environmental conditions of the past? (copernicus.org)

Oil formation - Energy Education How is petroleum formed? - Norwegianpetroleum.no (norskpetroleum.no)

On Waste Plastics at Sea, She Finds Unique Microbial Multitudes | Quanta Magazine

Air pollution (who.int)

Bessel van der Kolk. The Body Keeps the Score

# ЖЫЦЦЁВЫ ЦЫКЛ ЗОРАК

АўТАРКА КОМІКСУ  
Аліса Салдатава

Крыніцы  
Павел Грыц



Дзе я?

Вітаю ў нашай сям'ї  
зорак.

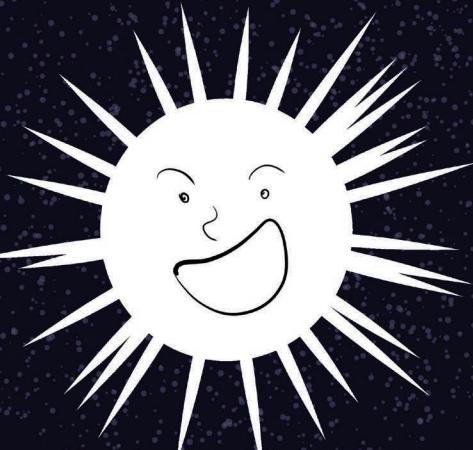
Нас вельмі штам,  
і мы ўсе розныя.

А якой я буду, калі стану дарослаю?

Калі будзеш штамт есці – будзеш як ён.

Такія зоркі вельмі нестабільныя.

Яны хутка могуць стацца чорнаю дзірою  
– ніхто дакладна не ведае, што гэта.



Ці такая зорка перародзіца ў звёшнівую.

Ці стане як чырвоны гігант

Потым перародзіца ў звёшнівую,  
а потым зробіца нейтронную



А калі будзеш есці мала  
– будзеш як карычневы карлік.



Я памятаю нараджэнне гэтага сусвету,  
мы – найстарэйшыя зоркі.

Але наўам мы аднойчы ператворымся ў зорны пыл.

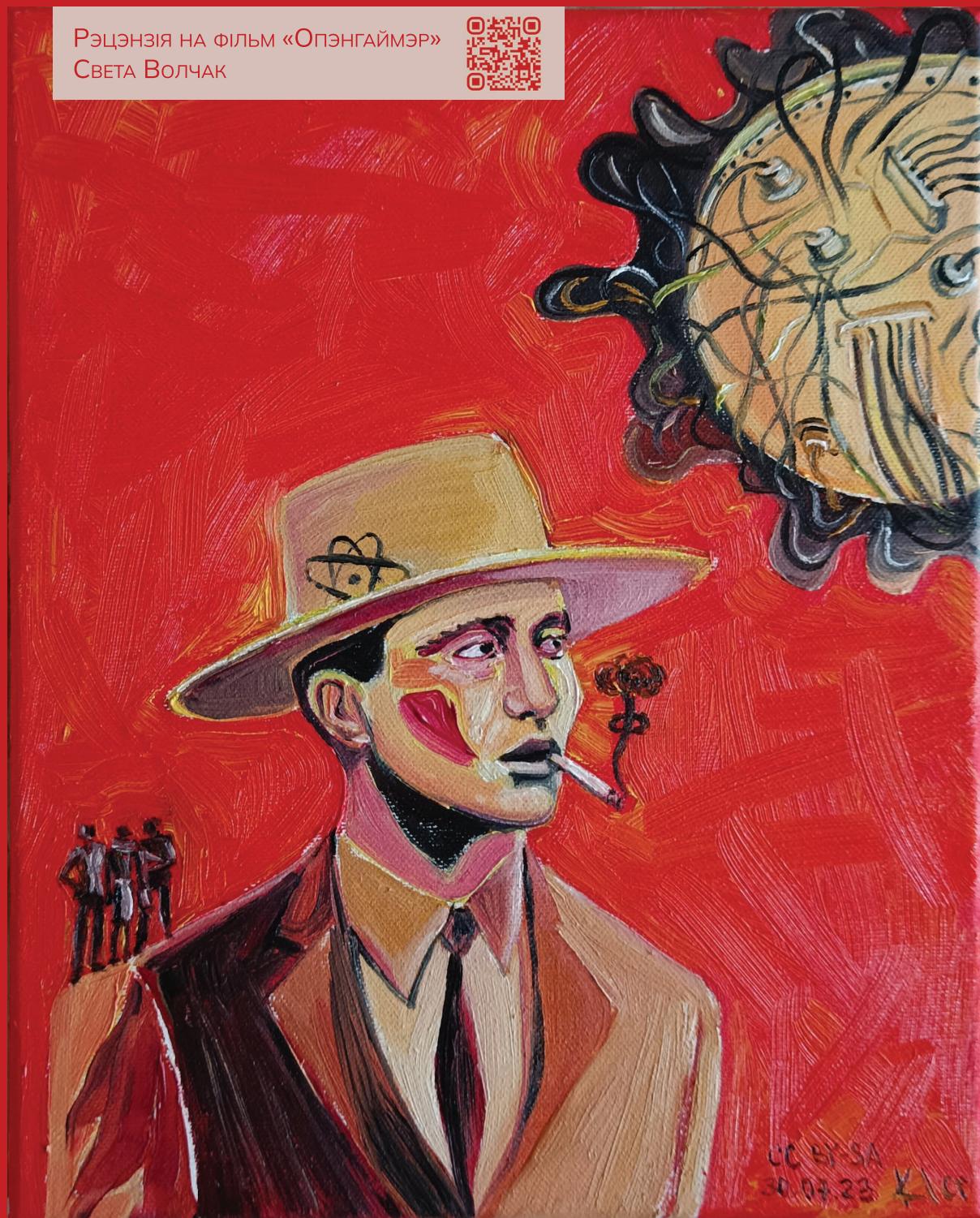
**Назіраючы за ядравым выбухам, Опэнгаймэр прыгадаў слова з святой кнігі індусаў «Бгагавад Гіта» (Bhagavad Gītā, XI,12):**

कालोऽस्मि लोककृपयकृत्प्रवृद्धो  
लोकान्समाहरतुमहि प्रवृत्तः। त्रृतेऽपनिवां न  
भवषियन्ति सर्वे येऽवस्थतिः प्रत्यनीकेषु  
योधाः॥११- ३२॥

Калі б на небе разам узышлі сотні  
тысячаў сонцаў, іхнае свято магло б  
прыраўнацца да зэяння Вярхоўнага  
Госпада ў Ягонай сусветнай форме.

# АД ФІЗІКА-ТЭАРЭТЫКА ДА ФІЗІКА-ПРАКТЫКА!

Рэцэнзія на фільм «Опэнгаймэр»  
СВЕТА Волчак



21 ліпеня ўва ўсясветны пракат выхадзіць стужка «Опэнгаймэр» рэжысёра Крыстафера Ноўлана (*Christopher Nolan*). Яна прысвечаная Робэрту Опэнгаймэру (*Robert Oppenheimer*), адказнаму за стварэнне атамнае бомбы, гэтак званы Мангэтанскі праект, які доўжыўся з 1942 да 1946 году.

Як толькі я пабачыла першую рэкламу гэтага фільму – ведала, што пайду адразу, бо я радыёфізіца, ведаю імя Робэрта Опэнгаймэра не толькі з цітраў. А артыкул пра «Мангэтанскі праект» у беларускай «Вікіпедыі» мой улюблёны, бо быў распачаты маім студэнтам. (Адно з заданняў, якое я давала студэнтам на факультэце РФІКТ БДУ, - напісаць артыкул у «Вікіпедыю» пра ўлюблёную фізічную тэму замест рэферату.)

### Софт і гард-скілы

Надзвычай цікавы фізік Робэрт Опэнгаймэр прывозіць новую навуку – квантавую механіку – з Еўропы ў Амерыку, ён яе адэпт. У той жа час піша працы пра касмалогію і жыццёвым цыкл зорак... Але верх бярэ ягоная харызма і воля своечасова ўзяць адказнасць за тое, чаго не рабіў ніхто.

Як толькі прыходзіць навіна, што немцы расчапілі атам урану, запускаецца працэс ланцуговасці рэакцыі ў навуцы: Нямеччына, СССР і ЗША паралельна пачынаюць праекты для стварэння бомбы. Любая з гэтых краінаў магла стварыць яе першая!

Можа быць, толькі чалавек з левымі поглядамі, які валодае некалькімі мовамі, чытаў Маркса ў арыгінале, стаіць на ўліку *FBI*, і ў той жа час любіць навуку ды свою краіну, мог сабраць супольнасць надзвычайных навукоўцаў, прывезці іх у пустэльню Нью-Мексіка – Лос-Аламас – і выцягнуць максімум з іхнае кааперацыі.

У Амерыцы на той час сканцэнтравалася шмат выбітных навукоўцаў за кошт імігрантаў. Магчыма, у гэтым была прычына іхнага поспеху. Там сама мы бачым і большую свободу дзеянняў.

### Вайна ніколі не завяршаецца

Вельмі цікава назіраць, як мяньяецца тон праекту ад «трэба стварыць бомбу першымі, каб яе не стварыла нацысцкая Нямеччына, каб запэўніць бяспеку іншым краінам», да «война, вядома, закончылася, але ёсьць небяспечныя японцы ды камуністы СССР». Ці супадаюць гэтыя максімы з думкамі героя?! Спачатку так. Але гэта не проста думкі, а стратэгія вядзення вайны: калі яе няма, а зброя ёсьць, то вайну трэба стварыць.

Герой трансфармуецца разам з абставінамі: ад упэўненасці ў сабе да асэнсання, што ягонае вынаходства не належыць яму, яно мае сваё далейшае жыццё ды насе разбурэнне і смерць...

Толькі пасля рэальнага выпрабавання бомбы Робэрт Опэнгаймэр пачынае разумець, што ён не ствараў бомбу, каб прыпыніць вайну. Ён адчыніў скрыню Пандоры.

### Выбух звышновай

Чым ярчэйшы чалавек, tym болей зайдроснікаўакол. Публічнага прыніжэння для Опэнгаймэра дабіваецца Льюіс Страз (Lewis Strauss), галоўная фігура ў расправоўканні ядравае палітыкі з ЗША таго часу, бізнесовец і філантроп.



wikipedia.org

Гэтага наш герой не чакаў, бо перад ім і без таго пайстала шмат маральных пытанняў. Ён не чакаў, што на ўсе пытанні трэба адказваць самому. З героя яго зрабілі не злыднем, але здраднікам, і дзверы ў найвышэйшы навуковы свет зачынілі. Як да гэтага паставіцца? Можа, чалавек, які стварыў масавую зброю, заслужыў пазбаўлення высокага статусу? Але ж яго судзяць дзяржаўныя службоўцы, бюракраты, якія спецыяльна нават не робяць адкрытага суда, а толькі слуханнямі ў справе бяспекі, каб прынізіць чалавечую годнасць.

**Маю ўвагу звярнулі на тое, што стужка не праходзіць тэсту Бэкдэл (*Alison Bechdel*). Лагічны тэст на рэпрэзентацыю жанчын у кіно, які спрадуктваецца ў выпадку выканання адначасова трох умоваў:**

- у фільме ёсьць хатя б дзве жанчыны,
- яны камунікуюць адна з адною,
- і камунікуюць не пра мужчынаў.

«Ноўлан жа традыцыйна не ведае, што рабіць з жаночымі персанажамі, ён іх умее толькі ў якасці мэблі ці ўзнагароды паказваць», – каментуе беларускі кінакрытык і рэдактар *Cineticle* Максім Карпіцкі.



Я хачу сімвалічна парайнаць жыццё Опэнгаймэра з жыццём зоркі, якое ён вывучаў. Вось ён зязу на небе... і стаўся чырвоным гігантом. А цяпер выбух звышновай - і ён, мабыць, цяпер белы карлік, пазбаўлены крыніцаў ядравай энергіі.

У будучым презідэнт Кенэдзі ўзнагародзіць Робэрта Опэнгаймэра прэміяй імя Энрыка Фэрмі (*Enrico Fermi*) ды рэабілітуе ягонае імя для шырокага грамадскасці. Дарэчы, як думаецце: як складзеца лёс ягонага ворага Строза?

### Этыка і зброя

Ці ёсьць выбар у Робэрта Опэнгаймэра - ствараць ці не ствараць атамнае бомбы? Здаецца, што ў яго - так, а ў чалавечства - не.

З гледзішча фізікі атамная энергія прыўкрасная! Радыяактыўны распад дае магутную ўнергію, што вылічваецца паводле формулы Айнштайнана:  $E = mc^2$ . І, безумоўна, пасля атамных бомбаў узнікнуць атамныя станцыі, каб выкарыстоўваць яе ўжо ў мірных мэтах. Падаецца, з'ява радыяактыўнасці - па-за межамі добра і зла...

Опэнгаймэр абірае выкарыстоўваць свае разум і здольнасці, каб стварыць сродак абароны і сродак атакі. У некаторым сэнсе ён абірае бяспеку для сваёй краіны і контроль над зброяй. Ён абірае добро для сваёй краіны і зло для краінай-ворагаў. Але адно і другое аказваецца ўယым.

А які выбар зрабілі бы на ягоным месцы? Што вы можаце зрабіць на вашым?

У гісторыі паўстаюць і мусілі паўставаць наступныя маральныя пытанні, якія супрадавжаюць развіццё амаль любое тэхнолагіі.

- Хто нясе адказнасць за ўжыванне зброі?
- Стваральнік зброі?
  - Той, хто вынайшаў яе працу, - навуковец?
  - Той, хто пачаў яе вытворчасць, - прамысловец?
  - Той, хто яе ўжывае, - вайсковец?
  - Той, хто загадвае яе ўжыць, - кіраўнік дзяржавы?



wikipedia.org

f) Той, хто абірае таго, хто загадвае яе ўжыць, - народ?

d) Other... Ці адказнасць на тым, на каго яе паспелі скінуць, - на крайнім?

### Утаймаванне энтраўпіі

Усе вялікія праекты не робяцца адным чалавекам. Яны робяцца з прыцягненнем вялікіх рэсурсаў - інтэлектуальных, матэрыяльных, людскіх. І людзі, працуючы ў калектыве, разам робяць справу...

Але, каб атрымаць такую магутную крыніцу энергіі, як атамная, неабходна было, каб старажытныя грэкі прыдумалі ўласна атам; каб гэтую ідэю падхапіў Джон Долтан (*John Dalton*) і заўважыў, што рэчывы заўжды камбінуюцца адно з адным прарапцыйна нейкім дыскрэтным лікам; каб Робэрт Броўн (*Robert Brown*) заўважыў броўнаўскі рух у рэчыве; каб Люі Пастэр (*Louis Pasteur*) дапусціў, што малекулы складаюцца з атамаў; каб Дж. Дж. Томсан (*Joseph John Thomson*) вынайшаў электрон з дапамогаю катоднае трубкі; каб Анры Бэкерэль (*Henri Becquerel*) і сужэнцы Кюрэ (*Curie*) адкрылі з'яву радыяактыўнасці; каб Эрнэст Радэрфорд (*Ernest Rutherford*) вынайшаў пратон; каб Альберт Айнштайн (*Albert Einstein*) вывеў формулу ўнергіі; каб Джэймз Чэдўік (*James Chadwick*) вынайшаў нейтрон; каб Лізэ Майтнер (*Lise Meitner*) і Ота Фрыш (*Otto Frisch*) атрымалі атамны распад...

Велічэзныя інтэлектуальныя і рэсурсныя затраты чалавечства! Але праца заўжды большая за атрыманы вынік. Гэта другі закон тэрмадынамікі. Энтраўпія ўзрастаете. Упарадкаваць ўнергію складана. Гэта ў нейкім родзе нашая - чалавечства - сізіфава праца :) Дарэчы, каціць камень угому - гэта сапраўды надаваць яму патэнцыйную ўнергію. І, як мы ўжо пісалі ў першым нумары, цяпер час развівацца новым яе крыніцам - гравітацыйным батарэям.

Асабіста я веру, што будучыня - за дэцэнтрапізацый крыніцаў ўнергіі, у тым ліку ядравай ўнергіі. Яку кнігах Айзэка Азімава (*Isaac Asimov*): фундацыя, калі кожны меў свой кішэнны ядравы рэактар.

Крыніцы:

Atomic Heritage Foundation  
<https://ahf.nuclearmuseum.org/ahf/profile/j-robert-oppenheimer/>

History of atomic theory  
<https://en.m.wikipedia.org/wiki/Atom>



## **ЗІН – ПРЫКЛАД КОПІЛЭФТ-ПРАЕКТУ. ДЗЯЛІЦЦА ЗІНАМ МОЖНА І ТРЭБА!**

Усе ўласныя матэрыялы распаўсюджваюцца пад ліцэнзіяй **Creative Commons Attribution-Share Alike**. **Атрыбуцыя (Attribution)** значыць, што калі вы бераце матэрыялы з зіну, вам трэба пазначыць аўтара матэрыялу, такім чынам аддаць яму гонар. **Дзяліцца на тых жа ўмовах (Share Alike)** значыць, што калі вы захочаце ўзяць нейкі матэрыял і перарабіць яго, то вы мусіце зрабіць ваш вытворны твор таксама вольным пад гэтай жа ліцэнзіяй. Такім чынам захоўваецца свабода і пашыраюцца веды.

**Мы ведаем, што любое навуковае  
адкрыццё пачынаецца з памылкі ;)  
І наш зін – гэта толькі пачатак  
развіцця беларускае навукі!**

Some our photos are not free (not under CC BY-SA license). We use them for educational purposes. Their license stays the same.



**Падтрымаць зін  
РАМУŁКА**