

АСАБЛІВАСЦІ ВЫКАРЫСТАННЯ КАНВАЛЮЦЫЙНЫХ НЕЙРОНАВЫХ СЕТАК ДЛЯ РАСПАЗНАННЯ І КЛАСІФІКАЦЫІ ВЫЯЎ ВОДАРАСЦЕЙ

П. Г. Бальцэвіч, А. А. Шавялёва

*Беларускі дзяржаўны ўніверсітэт, г. Мінск, Беларусь
E-mail: polina.baltsevich@gmail.com*

Даследаваны магчымасці выкарыстання прылад машыннага зроку для распазнання выяў мікраводарасцей. Вывучаны нюансы збору і падрыхтоўкі такога тыпу дадзеных. Для развязку задачы класіфікацыі водарасцей падабрана аптымальная з даступных мадэль канвалюцыйнай нейронавай сеткі.

Ключавыя словы: *машынны зрок, класіфікацыя выяў, ідэнтыфікацыя водарасцей, канвалюцыйныя нейронавыя сеткі.*

На працягу папярэдніх стагоддзяў пры ідэнтыфікацыі водарасцей выкарыстоўваліся пераважна марфалагічныя характарыстыкі. Па меры развіцця малекулярнай таксаноміі стала відавочна, што выкарыстанне вылучна фенатыпічных азнак недастаткова для выразнага ўсталявання межаў таксонаў рознага рангу [1]. Аднак менавіта метады візуальнай дыягностыкі выкарыстоўваюцца найбольш часта і шырока, хоць часам і з'яўляючыся толькі адным з этапаў ідэнтыфікацыі. У сілу шматлікіх фактараў гэта няпросты працэс, таму ўсё часцей робяцца спробы яго аўтаматызаваць. Распрацоўваюцца новыя архітэктуры сістэм машыннага зроку, што дазваляюць распазнаваць і класіфікаваць выявы; растуць адкрытыя базы выяў, на грунце якіх навучаюцца нейронавыя сеткі. Некаторыя з такіх сістэм атрымалі шырокі распаўсюд, прыкладам, iNaturalist [2], якая добра спраўляецца з ідэнтыфікацыяй макраводарасцей, аднак мікраводарасці распазнае з нізкай ступенню дакладнасці. Распрацаваны сістэмы, што эфектыўна распазнаюць абмежаваны набор таксанамічных груп: сістэма для распазнання відаў рода *Pediastrum* [3], сістэма для уліку дыятомавай водарасці *Synedra* [4] і г. д.

Прылады для стварэння ўласных сістэм распазнання робяцца ўсё больш дасканалымі і даступнымі, у звязку з гэтым была пастаўлена мэта падабраць такую мадэль, якая б аптымальна падыходзіла для работы з выявамі водарасцей, і вывучыць магчымыя нюансы такога тыпу дадзеных.

У якасці тэставага аб'екта абраны водарасці некалькіх родаў з сямейства *Hydrodictyaceae*, якія раней прылічаліся да адзінага роду *Pediastrum*. Такі выбар зроблены па некалькіх прычынах. Іх шырокі распаўсюд і буйныя памеры дазваляюць набраць дастатковую колькасць

якаснага фотаматэрыялу. А нягледзячы на адносна простыя крытэрыі ідэнтыфікацыі, яны маюць моцнае вонкавае падабенства, такім чынам мы зможам праверыць, ці улоўлівае нейрасетка тыя адрозненні, якія бачыць спецыяліст. Акрамя таго, гэтая група, дзякуючы адмысловаму складу клеткавай сценкі, мае каштоўнасць у біястратыграфіі [5], і зразумела, што для скамянеласцяў аніякія метады вызначэння відаў акрамя візуальнай ацэнкі не працуюць.

Збор жывога матэрыялу для першага набору ажыццяўляўся ў вегетацыйны перыяд 2021 года. Пробы праглядалі ў дзень збору і фатаграфавалі мэтавыя арганізмы. Адсеяны выявы, па якіх не атрымалася дакладна выявіць відавую прыналежнасць, а таксама віды, сустрэтыя ў адзінкавых экзэмплярах. Выніковы набор складаўся з *Lacunastrum gracillimum*, *Pseudopediastrum boryanum* і *Stauridium tetras* (113, 153 і 130 выяў адпаведна).

Таксама мы падрыхтавалі набор з процілеглымі якасцямі – фатаграфіі максімальна разнастайных звонку відаў, з'яднаных ў таксоны высокага рангу, каб праверыць, ці здольная нейрасетка выяўляць, наадварот, не тонкія нюансы адрозненняў, а нейкія абагульняльныя якасці і рысы. Мы адабралі фатаграфіі з нашых папярэдніх даследаванняў: тып Charophyta (117 выяў, 36 відаў), тып Chlorophyta (185 выяў, 58 відаў), тып Bacillariophyta (173 выявы, 42 віда), тып Cyanobacteria (102 выявы, 34 віды). Таксама ўлучаны тып Euglenozoa з невялікай колькасцю выяў (43 выявы, 17 відаў), каб праверыць, наколькі моцны ўплыў на якасць работы нейронавай сеткі аказвае колькасць аб'ектаў у катэгорыі.

Усе фатаграфіі зроблены з дапамогай светлавога мікраскопа Микромед 1 (вар. 3 LED) з павелічэннем x400 на камеру смартфона Redmi Note 7 у разрознасці 2250x4000 px і кадраваны да памеру 256x256, каб аб'ект быў у цэнтры і займаў большую частку пляца. Усе дадзеныя выпадковым чынам разбіты на трэнеравальную, валідацыйную і тэставую выбаркі (75%, 20% і 5% адпаведна).

Для стварэння сістэмы машыннага навучання выкарыстоўвалася мова праграмавання Python, адкрытая бібліятэка TensorFlow і надбудова Keras. Keras прапануе набор мадэляў глыбокага навучання для класіфікацыі выяў [6]. Кожная мадэль па чарзе была навучана на невялікім трэнеравальным наборы. Пасля параўнання для выпрабаванняў былі адабраны мадэлі з дакладнасцю > 0.8 і памерам $< 10^{-7}$. Усе яны належалі да сямейства EfficientNet B0-B4. Адабраныя мадэлі наноў навучалі ўжо на рабочых наборах; аптымальнае спалучэнне памеру, хуткасці і дакладнасці паказала EfficientNetB0, якая і была скарыстана далей.

Для першага набору атрымалася дасягнуць дакладнасці 0,97 пры значэнні функцыі страт 0,08. Нармалізаваныя матрыцы неадпаведнасцяў

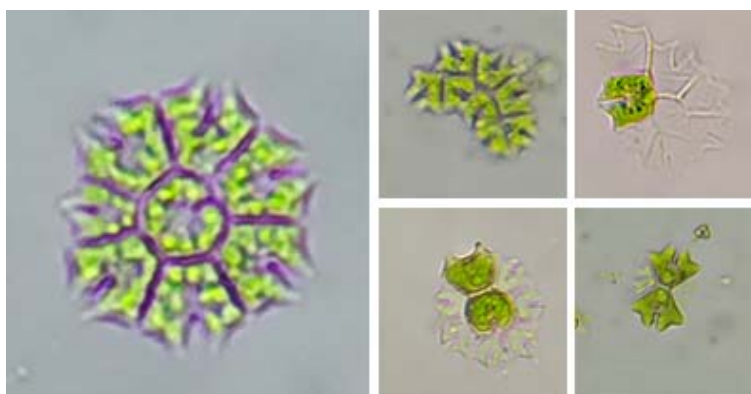
па валідацыйнай і тэставай выбарках прыведзены на мал. 1. Па вертыкалі – сапраўдныя катэгорыі, па гарызанталі – прадказаныя нейрасеткай.

Прадк. Рэал.	L.g.	Ps. b.	S. t.
L. gracillimum	1.00	0.00	0.00
Ps. boryanum	0.00	0.97	0.03
S. tetras	0.00	0.04	0.96

Прадк. Рэал.	L.g.	Ps. b.	S. t.
L. gracillimum	0.95	0.05	0.00
Ps. boryanum	0.10	0.85	0.05
S. tetras	0.05	0.05	0.90

Мал. 1. Матрыцы неадпаведнасцяў для першага набору

Варта заўважыць, што нейрасетка паспяхова распазнае нават тыя цэнобіі, якія былі дэфармаваны, нестандартна развіліся ці згубілі частку клетак. У якасці прыклада на малюнку 2 злева прыведзены тыповы выгляд *Stauridium tetras*, зправа – выявы, якія слухна былі аднесены да гэтай катэгорыі з высокай ступенню імавернасці.



Мал. 2. *Stauridium tetras*

Для другога набору атрымалася дасягнуць дакладнасці 0,8 пры значэнні функцыі страт 0,67. Нармалізаваныя матрыцы неадпаведнасцяў па валідацыйнай і тэставай выбарках прыведзены на малюнку 3.

Прадк. Рэал.	B.	Ch.	Chl.	C.	Eug.
Bacillariophyta	0.97	0.03	0.00	0.00	0.00
Charophyta	0.18	0.50	0.32	0.00	0.00
Chlorophyta	0.06	0.06	0.68	0.12	0.09
Cyanobacteria	0.17	0.00	0.00	0.83	0.00
Euglenozoa	0.44	0.11	0.00	0.00	0.44

Прадк. Рэал.	B.	Ch.	Chl.	C.	Eug.
Bacillariophyta	1	0.00	0.00	0.00	0.00
Charophyta	0.20	0.50	0.00	0.25	0.05
Chlorophyta	0.10	0.15	0.60	0.10	0.05
Cyanobacteria	0.20	0.15	0.00	0.65	0.00
Euglenozoa	0.43	0.10	0.05	0.05	0.36

Мал. 3. Матрыцы неадпаведнасцяў для другога набору

Найлепшы паказнік назіраецца для тыпу *Bacillariophyta*. Імаверна, гэта злучана са спецыфічным бурым фарбаваннем, якое рэзка адрозніваецца ад іншых водарасцей. Найгоршы вынік, як меркавалася, назіраецца ў *Euglenozoa*, хутчэй за ўсё, гэта тлумачыцца нястачай дадзеных. У цэлым

вынікі значна горшыя, чым для папярэдняга набору. Мы выказалі здагадку, што гэта можа быць злучана з колькасцю катэгорый, і наноў перанавучылі нейрасетку, пакінуўшы толькі тры катэгорыі з пяці, але гэта не паўплывала на дакладнасць распазнання.

Падводзячы вынікі, можна сказаць, што агульнадаступныя мадэлі нейронавых сетак прыдатныя для распазнання і класіфікацыі выяў мікраводарасцей і могуць быць скарыстаны для развязку ўжытковых задач, гэта не патрабуе дарагога абсталявання, якое валодае высокай вылічальнай магутнасцю. Аднак якасць іх работы залежыць як ад выбару тыпу дадзеных, гэтак і ад таго, якім чынам яны падрыхтаваны. Мы бачым, што парадку 100 выяў у катэгорыі можа быць досыць для дакладнасці распазнання звыш 90%, але ў тым выпадку, калі новыя ўваходныя дадзеныя прыведзены да фармату, блізкага да навучальнага. Калі ж мяркуецца, што сістэма павінна распазнаваць вельмі разнастайныя дадзеныя (выявы рознага памеру, разрознасці, ступені асветленасці і г. д.), то ўсе гэтыя варыяцыі трэба рэпрэзентацыйна падаць ў навучальнай выбарцы.

На такіх аб'ёмах нейрасетка добра спраўляецца з класіфікацыяй аднастайных дадзеных. Для змяшаных і неаднастайных дадзеных, як таксоны буйнага рангу, што залучаюць у сабе мноства непадобных звонку відаў, вынік незадавальняльны. Імаверна, якасць распазнання можна было б палепшыць, значна павялічыўшы аб'ём навучальнай выбаркі, але гэта бачыцца немэтазгодным для вырашэння такога тыпу задач.

БІБЛІАГРАФІЧНЫЯ СПАСЫЛКІ

1. Темралеева А. Д. Современные методы выделения, культивирования и идентификации зеленых водорослей (Chlorophyta). // Кострома: Костромской печатный дом. 2014. 215 с.
2. INaturalist [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.inaturalist.org/> – Date of access: 08.03.2022.
3. Pant G., Yadav D. P., Gaur A. ResNeXt convolution neural network topology-based deep learning model for identification and classification of *Pediastrum* // *Algal Research*. 2020. Vol. 48. P. 101932. DOI: 10.1016/j.algal.2020.101932.
4. Ёлшин К.А., Молчанова Е. И., Усольцева М. В., Лихошвай Е.В. Автоматический учет диатомовых водорослей Байкала // *Вопросы современной альгологии*. 2019. № 2 (20). С. 295–299. DOI: 10.33624/2311-0147-2019-2(20)-295-299
5. Jankovská V., Komárek J. Indicative value of *Pediastrum* and other coccal green algae in palaeoecology // *Folia Geobot.* 2020. Vol. 35, N. 1. P. 59–82. DOI: 10.1007/BF02803087.
6. Keras Applications [Electronic resource]. – Mode of access: <https://keras.io/api/applications/> – Date of access: 08.03.2022.