

**ТРУДЫ  
КАРАДАГСКОЙ  
НАУЧНОЙ СТАНЦИИ  
им. Т.И. ВЯЗЕМСКОГО –  
ПРИРОДНОГО  
ЗАПОВЕДНИКА РАН**

**Выпуск 4(20)**

**2021**

УДК 06 (477.75)

**Главный редактор:** Р. В. Горбунов, канд. геогр. наук  
**Заместитель главного редактора:** В. И. Мальцев, канд. биол. наук  
**Технические редакторы:** Т. Ю. Горбунова, канд. геогр. наук, О. А. Миронюк

### **РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ**

П. Н. Баранов, д-р геол.-минерал. наук,  
д-р геол. наук  
М. М. Бескаравайный, канд. биол. наук  
В. А. Боков, д-р геогр. наук  
Ю. И. Будашкин, канд. биол. наук  
Б. А. Вахрушев, д-р геогр. наук  
Ю. В. Глибин  
Н. А. Давидович, д-р биол. наук  
А. В. Ена, д-р биол. наук  
Е. И. Ергина, д-р геогр. наук  
С. П. Иванов, д-р биол. наук  
В. В. Майко, д-р ист. наук  
В. А. Миноранский, д-р с.-х. наук  
Е. Л. Неврова, д-р биол. наук

Э. Б. Петрова, д-р ист. наук  
Ю. В. Плугатарь, чл.-корр. РАН, д-р с.-х. наук  
Е. А. Позаченюк, д-р геогр. наук  
М. А. Поляков, канд. биол. наук  
В. В. Рожнов, академик РАН, д-р биол. наук  
А. А. Родионов, канд. ист. наук  
И. И. Руднева, д-р биол. наук  
Ю. А. Силкин, канд. биол. наук  
Т. Н. Смекалова, д-р ист. наук  
А. А. Солдатов, д-р биол. наук  
А. В. Фатерыга, канд. биол. наук  
В. В. Фатерыга, канд. биол. наук  
И. В. Флоринский, д-р техн. наук  
А. Л. Чепалыга, д-р геогр. наук

Все материалы, подаваемые в «Труды Карадагской научной станции им. Т.И. Вяземского – природного заповедника РАН», проходят двойное независимое анонимное рецензирование

### **Учредитель**

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Федеральный исследовательский центр  
«Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН»  
ОГРН 1159204018478

### **Издатели**

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Федеральный исследовательский центр  
«Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН»  
299011, г. Севастополь, пр-кт Нахимова, д. 2.

### **Адрес редакции**

299011, г. Севастополь, пр-кт Нахимова, д. 2.  
Телефон +7 (8692) 54-41-10  
E-mail: karadag.trudy@yandex.ru

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Федеральный исследовательский центр  
«ИНСТИТУТ БИОЛОГИИ ЮЖНЫХ МОРЕЙ имени А.О. КОВАЛЕВСКОГО РАН»  
КАРАДАГСКАЯ НАУЧНАЯ СТАНЦИЯ им. Т.И.ВЯЗЕМСКОГО –  
ПРИРОДНЫЙ ЗАПОВЕДНИК РАН

# ТРУДЫ КАРАДАГСКОЙ НАУЧНОЙ СТАНЦИИ им. Т.И. ВЯЗЕМСКОГО – ПРИРОДНОГО ЗАПОВЕДНИКА РАН

Научный журнал

Основан в мае 2016 г.

Периодическое издание

Выходит 4 раза в год

Выпуск 4(20)

2021

СОДЕРЖАНИЕ

## Изучение биоразнообразия и экологический мониторинг

*Grintsov V. A. First finding of *Caprella cf. equilibra* say, 1818 (Amphipoda, Caprellidae) in coastal zone south-west of Crimea (Black sea) . . . . . 3–9*

*Сизачева Т. Б. Возрастные особенности прооксидантно-антиоксидантной системы крови бычка-кругляка *Neogobius melanostomus* (Pallas, 1814) из Черного и Азовского морей . . . . . 10–15*

*Скуратовская Е. Н. Сезонная динамика активности антиоксидантных ферментов крови массовых видов рыб из прибрежной акватории г. Севастополя (Черное море) . . . . . 16–21*

*Щербань С. А. Изучение процессов тканевого роста у черноморских видов двустворчатых моллюсков в прибрежных биоценозах Севастополя и югобережного Крыма (1987–2018 гг.) 22–34*

## Географические, геологические и палеонтологические исследования

*Валов М. В., Колотухин А. Ю., Бармин А. Н., Татаринцев С. А., Сицков А. В. Дельта реки Волги: статистические тренды водного режима . . . . . 35–42*

*Дрыгваль П. В., Дрыгваль А. В., Лебедев Я. О., Горбунов Р. В., Станис Е. В., Фам Кам Ньунг Распределение и миграция химических элементов в почвах хребта Магнитный (ГПЗ «Карадагский») . . . . 43–53*

*Табунчик В. А., Келип А. А., Андрончик Я. О. Анализ абсолютных высот рельефа в пределах ландшафтов Крымского полуострова . . . . . 54–66*

## Исторические, археологические и искусствоведческие исследования

*Керимов И. А., Гагаева З. Ш. Экспедиционные исследования Кавказа (конец XIX в.) под руководством А. А. Инностранцева . . . . . 67–80*

Federal State Budget Scientific Institution  
Federal Research Center  
«A.O. KOVALEVSKY INSTITUTE OF BIOLOGY OF THE SOUTHERN SEAS OF RAS»  
T.I. VYAZEMSKY KARADAG SCIENTIFIC STATION –  
NATURE RESERVE OF THE RAS

# PROCEEDINGS OF T.I. VYAZEMSKY KARADAG SCIENTIFIC STATION – NATURE RESERVE OF THE RAS

Scientific Journal

---

Established in May 2016

Periodical

Issued 4 times a year

---

Issue 4(20)

2021

## CONTENT

---

### Study of biodiversity and environmental monitoring

---

*Grintsov V. A. First finding of *Caprella cf. equilibra* say, 1818 (Amphipoda, Caprellidae) in coastal zone south-west of Crimea (Black sea) ..... 3–9*

*Sigacheva T. B. Age features of the prooxidant-antioxidant blood system of the round goby *Neogobius melanostomus* (Pallas, 1814) from the Black sea and the sea of Azov ..... 10–15*

*Skuratovskaya E. N. Seasonal dynamics of the antioxidant enzyme activities in blood of mass fish species from Sevastopol coastal area (the Black sea) ..... 16–21*

*Shcherban S. A. Study of tissue growth processes in the black sea bivalve mollusc species in coasteal biocenoses of sevastopol and south coast of crimea (1987–2018) ..... 22–34*

---

### Geographic, geological and paleontological studies

---

*Valov M. V., Kolotukhin A. Yu., Barmin A. N., Tatarintsev S. A., Sintsov A. V. Volga river delta: statistical trends of water regime ..... 35–42*

*Drygval P. V., Drygval A. V., Lebedev Ya. O., Gorbunov R. V., Stanis E. V., Pham Cam Nhung Distribution and migration of chemical elements in soils of the Magnitnyj ridge (Karadag nature reserve) .... 43–53*

*Tabunshchik V. A., Kelip A. A., Andronchik Ya. O. Landscapes distribution of the Crimean peninsula by absolute altitudes ..... 54–66*

---

### Historical, archaeological and art studies

---

*Kerimov I. A., Gagaeva Z. Sh. Expeditional researches of the caucasus (late 19<sup>th</sup> century) under the leadership of A. Inostrantsev ..... 67–80*

---

**ИЗУЧЕНИЕ БИОРАЗНООБРАЗИЯ  
И ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ**

---

УДК 595.371.31(262.5.04)

**FIRST FINDING OF *CAPRELLA* CF. *EQUILIBRA* SAY, 1818 (AMPHIPODA,  
CAPRELLIDAE) IN COASTAL ZONE SOUTH-WEST OF CRIMEA (BLACK SEA)\***

**Grintsov V. A.**

*A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, Russian Federation,  
e-mail: [vgrintsov@gmail.com](mailto:vgrintsov@gmail.com)*

Specimens from genus *Caprella* (Amphipoda, Caprellidae) were revealed in fouling of constructions of oyster sea farm near coastal zone of Sevastopol (Crimea, the Black Sea) in 2018. Morphologically specimens of this species are close to the species *C. equilibra* Say, 1818. Earlier specimens of this species were not found in the Black Sea. Stable population of this species (adult males, adult females, juvenile specimens) were investigated from 2018 till 2020. Morphology of adult males, adult females including microtrichs was investigated. Information on ecology of this species is present.

**Keywords:** Amphipoda, *Caprella* cf. *equilibra*, morphology, coastal zone of Crimea.

### Introduction

Four species of the genus *Caprella* have been recorded in the coastal zone of Crimea: *C. acanthifera* Leach, 1814; *C. danilevskii* Czerniavski, 1868; *C. liparotensis* Haller, 1879; *C. mitis* Mayer, 1890. The species *C. equilibra* Say, 1818 was recorded only for the coastal zone of Turkey [Sezgin, Kosatas, Katagan, 2001]. In 2018–2021 a species from the genus *Caprella*, morphologically very close to the species *C. equilibra*, was discovered in the coastal zone of Sevastopol. The taxonomic status of the discovered species was designated as *Caprella* sp. cf. *equilibra*. During the research many specimens of this species were noted among stolons of hydroid polyps from the genus *Aglaophenia* Lamouroux, 1812. This article provides information on the morphology and ecology of the species *Caprella* sp. cf. *equilibra*.

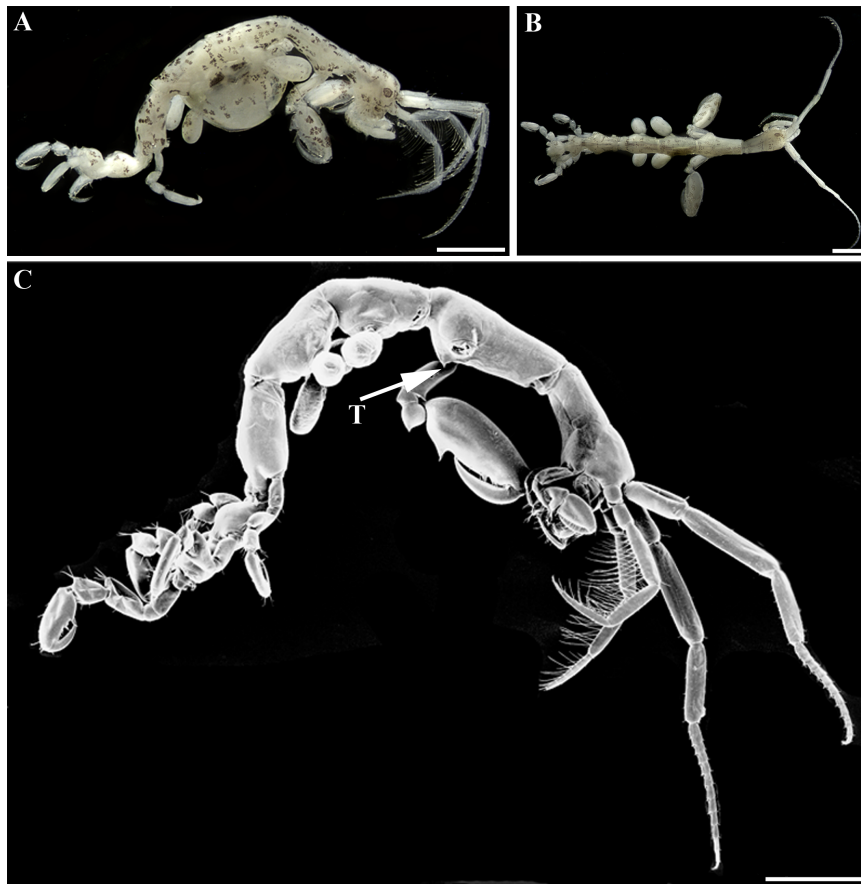
### Material and methods

In 2018 specimens were collected monthly from February to August. In 2019–2021 specimens were collected in March — May. More than 3000 specimens were identified. Specimens were collected from stolons of hydroid polyps of the genus *Aglaophenia* in dishes and fixed with 75 % ethanol. In laboratory specimens were observed with the use of stereomicroscope MBS-9 and SEM Hitachi SU3500 for further morphological studies. A standard ocular-micrometer for stereomicroscope MBS-9 was used for measurement of the specimens. Pictures to demonstrate the coloration of specimens were taken using a camera stereomicroscope Leica DM2500 and a Leica 36D stereomicroscope. To describe the morphology, we chose an adult male and female with all the morphological features.

### Results

Figure 1 shows the habitus and coloration of the adult male and female of *Caprella* sp. cf. *equilibra* (fig. 1. A, B — colours and habitus, C — habitus) collected from stolons of a hydroid polyp of the genus *Aglaophenia*, that populated the collector of a mussel farm. Location of the collector was the coastal zone of Sevastopol. Depth — 4 m. Data of collection — April 04, 2018.

\*The work has been prepared within the state assignment of the A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, state registration number AAAA-A18-121030300149-0.

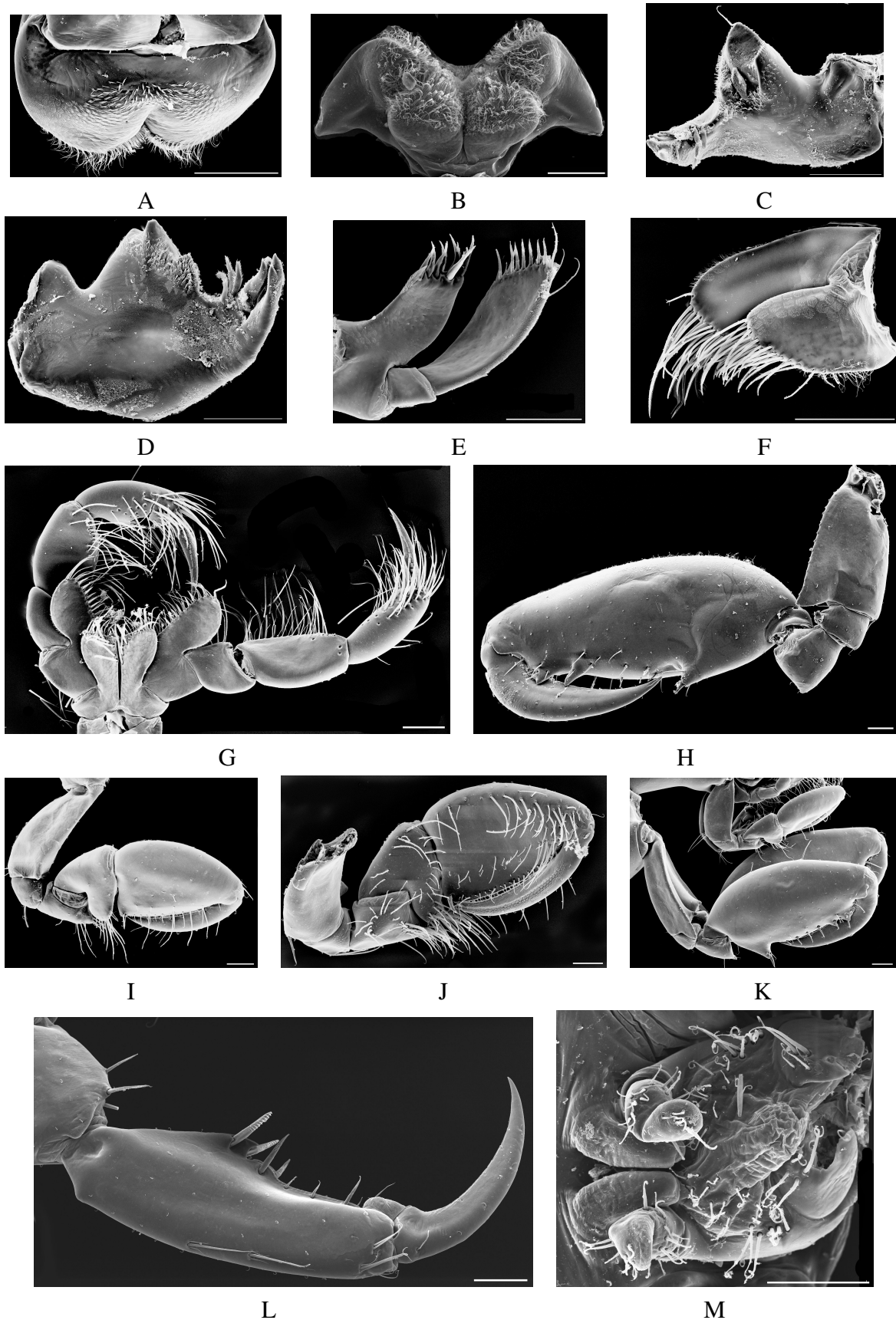


**Fig. 1.** *Caprella* sp. cf. *equilibra*. A — adult female with marsupium, lateral view; B — adult male, superior view; C — adult male, lateral view. Scale lines 1 mm. Designations: A, B — stereomicroscope Leica DM2500; C — SEM Hitachi SU3500. Notice: figure «C» — left gnathopod II is missing; «T» — tooth.

**Description of morphology. Male.** Length 15 mm. Coloration; groups of small spots by surface of body (fig. 1, B). Length of antennae I — 8.6 mm. Length of antennae II — 3.2 mm. Gnathopod I, basipodit length 0.7 mm, width 0.2 mm. Gnathopod II; basipodit; length 1 mm, width 0.4 mm; ischium, length 0.3 mm; merus, length 0.5 mm; propodus, length 3.0 mm, width 1.0 mm. Length of pereonite I + cephalon 3.2 mm, length of pereonite II 4.0 mm.

Cephalon; rostrum small, eyes oval-shaped, dark in ethanol. Antennae I: peduncle; first article shortest, second and third article much longer with rare tiny rounder spines; flagellum, 20 articles, 4 proximal articles fused. Antennae II: peduncle; second article shorter than third, third article about 2.5 times shorter than fourth, fourth and fifth articles are equal ventrally with groups long setae; flagellum with 2 articles, first article much longer than second and ventrally with long comb-shaped setae, second article distally with two curved spines. Cephalon only dorsally has traces of suture with the first pereonites. Mouthparts typical for genus (Fig. 2).

Gnathopod I (fig. 2, I, J): basis dorso-distally with wide small lobe, merus disto-ventrally with wide rounded tooth, carpus about half of propodus length and ventrally stretched wide lobe, with groups of setae, propodus near triangle, palm with teeth and two strong spines, dactylus slightly longer than palm with small teeth by inner site. Gnathopod II (fig. 2, H): basis slightly expanded distally, serrate dorsally, dorso-distally with lobe, reaching middle ischium, inner site distally with wide curve lobate process. Ischium dorso-distally with a little process, serrate from the basipodite side. Propodus, palm proximally with process ending in a strong spine and distally with two process, proximally process narrow and shorter distally process, proximally process with a blunted tip, distally process triangle, dactylus strong with tiny teeth by inner site, proximally with roller expansion by inner site.

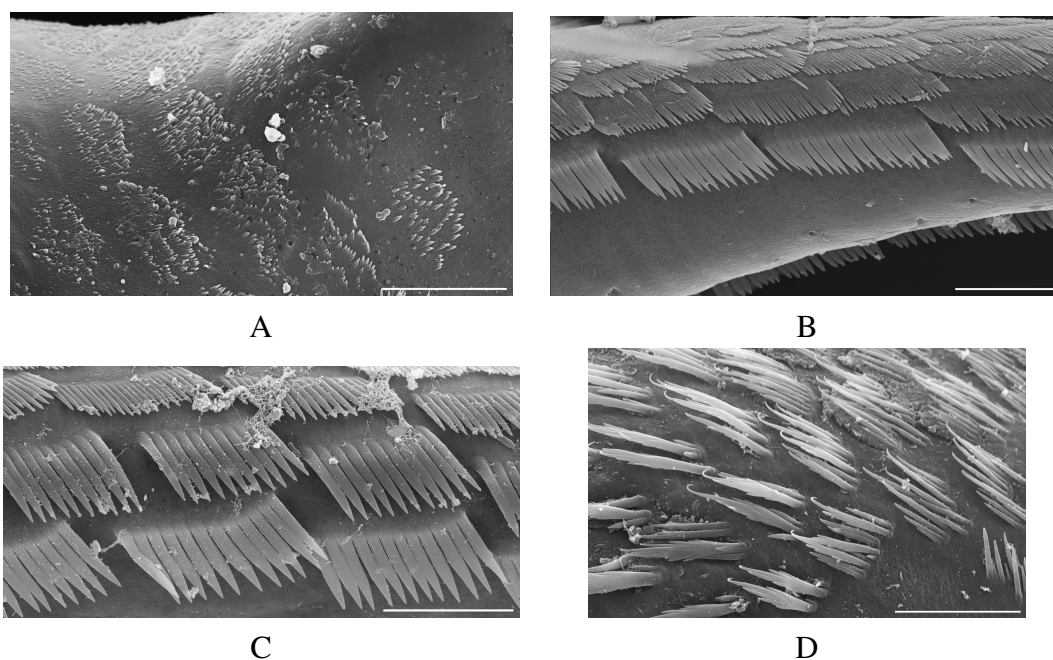


**Fig. 2.** *Caprella* sp. cf. *equilibra*. A — upper lip; B — lower lip; C — mandible left; D — mandible right; E — maxilla I; F — maxilla II; G — maxilliped; H — gnathopod II; I — gnathopod I; J — gnathopod I, interior view; K — gnathopodes I and II; L — pereopod VII, propodus and dactylus; M — abdomen. Male — A, B, C, D, E, F, G, H, I, M. Female — K, L. Scale lines 0.1 mm.

Pereonite II (Fig. 1) with strong conical process pointed at the tip. Branchiae oval attached in the middle pereonites III and IV. Pereonites III and IV, ventro-laterally with lobate processes. Pereonite V ventro-proximally with two tubercles, latero-proximally with two more massive tubercle, than the ventrally tubercles. Surface pereonites VI and VII ventrally uneven, bumpy. Pereopodes V: basis and merus expanding distally, in outer site distally with process, carpus with process in the middle of the outside side, propodus similar in length to carpus and merus together, palm concave with two rows spines increasing from proximally to distally, two latest distally spines are largest, dactylus curve and longer palm. Pereopodes VI longer than pereopodes V, basis, merus, carpus, propodus and dactylus morphologically similar to pereopodes V. Pereopodes VII (Fig. 2, L) the largest, morphologically similar to pereopodes V and VI. Urosome with pair one segmented appendages and medial penes.

**Female.** Length 7.0 mm. Antennae I, length 4.4 mm. Sexually distinctive features: pereonite I, length + length of head — 1 mm, pereonites II, length — 1.4 mm, pereonites III + IV, length 2.7 mm. Pereonites III and IV with marsupium. Gnathopod II (fig. 2, K); propodus near to oval.

Additionally, to study macro-morphological parameters, micro-structure of body surface was investigated [microtrichs, term. Richards, 1951]. Groups of plain (fig. 3, A, B, C) and complex (fig. 3, D) microtrichs were revealed. Groups of microtrichs dispose preliminary inner site of gnathopods I and mouthparts. By assumption of Vasilenko S. V. microtrichs can be important as additional elements by feeding [Vasilenko, 1974].



**Fig. 3.** *Caprella* sp. cf. *equilibra*. A — groups of plain microtrichs on inner site maxilla I; B — groups of plain microtrichs on dactylus of maxilliped; C — groups of plain microtrichs on dactylus of gnathopods I; D — groups of complex microtrichs on upper lip. Scale lines 0.01 mm.

**Ecology.** Specimens of *Caprella* sp. cf. *equilibra* in investigated habitats found among other species of amphipods: *Ampithoe ramondi* Audouin, 1826, *Apohyale perieri* (Lucas, 1846), *C. acanthifera* Leach, 1814, *Erichthonius difformis* H. Milne Edwards, 1830, *Jassa ocia* (Spence Bate, 1862), *Stenothoe monoculoides* (Montagu, 1813). Preferred habitat is periphyton with colonies of hydroid of the genus *Aglaophenia* Lamouroux, 1812. Specimens are also found among algae, specimens of *Mytilus galloprovincialis* Lamarck, 1819 and *Crassostrea gigas* (Thunberg, 1793). Specimens of *Caprella* sp. cf. *equilibra* marked in diapason of depth from 0 to 8 m. Specimens of *Caprella* sp. cf. *equilibra* were found also in periphyton of onshore concrete hydrotechnical constructions.



**Discussion.** The following morphological differences between the species, founding in south-western part of Crimea and morphologically closest to *C. equilibra* (*C. equilibra* by description Krapp-Schickel, 1993) were noted: palm gnathopodes II male and female of species from Crimea near proximally part of dactylus with two teeth — wide and narrow (fig. 2, H), whereas in the description and pictures of *C. equilibra* [Krapp-Schickel, 1993] 1 wide tooth is noted. Inner edge of gnathopodes II dactylus male in illustrations [Krapp-Schickel, 1993] strongly serrate, but, in species from Crimea this morphology element is practically without serration (Fig. 2, H). The above differences do not allow us to be sure that the species found in the south-western part of the Crimea is exactly *C. equilibra* and in this time taxonomical status of species from south-western part of Crimea can be denoted as *Caprella* sp. cf. *equilibra*.

Type location of the *C. equilibra* — coast of North America [McCain, Steinberg, 1970]. Besides *C. equilibra* was registered in coast of Brazil [Lacerda, Takeuchi, Masunari, 2011], South Korea, New Zealand [Guerra-Garcia, 2003], Bermuda islands [Gable, Lazo-Wasem, Baldinger, 2010], coast of Argentina [Castro et al., 2020], Caribbean Sea [Miloslavich et al., 2010], south Pacific [Guerra-Garcia, 2003], Mediterranean Sea [Koukouras, 2010], North Sea, coast of south Africa [Griffiths, 1974]. In the Black Sea *C. equilibra* was recorded only along the coast of Turkey [Sezgin, Kosatas, Katanagan, 2001]. Possibly detected in south-western part of Crimea this species is subspecies or morph of *C. equilibra* but this requires further research.

There can be 2 ways of settling the Crimean coast by specimens of *Caprella* sp. cf. *equilibra*: natural migration of individuals with a common cyclonic cycle of the Black Sea waters [Knipovitch, 1932], or through human activity, primarily shipping. Both ways are possible, since the Black Sea is regularly replenished by various invaders from the Mediterranean and other seas.

Ecological information indicates the ability of specimens of *Caprella* sp. cf. *equilibra* survive in different environmental conditions of periphyton, as substrates, located at a distance from the shore, as on near shore habitats, but preferable substrate with dominance hydroid polyp of the genus *Aglaophenia* on constructions was located at a distance from the shore. According to the data [Krapp-Schickel, 1993] specimens morphologically closest to the species *C. equilibra* in Mediterranean were registered between Hydroids, Ascidia, Spongia, Bryozoa, different species of green and red algae, sea grass *Posidonia*. Noted, that the specimens of this species live in big groups [Fiorencis, 1940] as the specimens of *Caprella* sp. cf. *equilibra*. Number of specimens in places of the greatest concentration of *C. cf. equilibra* can reach more than 1000 spec·m<sup>-2</sup> on the surface of the substrate.

Below there are the taxonomical keys to all species of *Caprella* Lamarck, 1801 known to date for coastal zone of Crimea:

1. Antennae II without long setae ..... *C. acanthifera*
- Antennae II with rows long setae ..... 2
2. Pereopodes VI-VII, palm of propodus with strong spines ..... 3
- Pereopodes VI-VII, palm of propodus without strong spines ..... *C. danilevskii*
3. Pereonite II with a sharpened spine between basis of gnathopod II ..... *Caprella* sp. cf. *equilibra*
- Pereonite II without a sharpened spine between basis of gnathopod II ..... 4
4. Pereopodes V-VII, carpus with row small theets, basis gnathopod II short, merus slightly bigger than carpus, rostrum present ..... *C. liparotensis*
- Pereopodes V-VII, carpus without row small teeth, basis gnathopod II long, merus much more than carpus, rostrum missing ..... *C. mitis*

## Conclusion

Taking into account the regular large collections in 2018–2021, *Caprella* sp. cf. *equilibra* successfully populated the structures of the mussel farm in the south-west of Crimea. Thus, 5 species of the genus *Caprella*, including the new species *Caprella* sp. cf. *equilibra*, have been recorded in the coastal waters of Crimea.

**Acknowledgements.** Author is thankful to S. V. Shchurov for collecting the samples.

## References

1. Castro K., Giachetti C., Battini N., Bortolus A., Schwindt E. Cleaning by beaching: introducing a new alternative for hull biofouling management in Argentina // Aquatic Invasions. – 2020. – Vol. 15, iss. 1. – P. 63–80. – <https://doi.org/10.3391/ai.2020.15.1.05>
2. Fiorencis A. I. Caprellidi del mare Adriatico presso Rovigno // Thallasia. – 1940. – Vol. 4. – P. 1–34.
3. Gable M. F., Lazo-Wasem E. A., Baldinger A. J. The Amphipoda of Bermuda — A century of taxonomy // Zoologica baetica. – 2010. – Vol. 21, spec. iss. : Amphipods: Trends in systematics and ecology. – P. 131–141.
4. Griffiths C. L. The Amphipoda of Southern Africa. Pt. 4. The Gammaridea and Caprellidea of the Cape Province East of Cape Agulhas // Annals of the South African Museum. – 1974. – Vol. 65. – P. 251–336.
5. Guerra-Garcia J. M. The caprellidean Amphipoda from the subantarctic islands of New Zealand and Australia with the description of a new genus and two new species // Scientia Marina. – 2003. – Vol. 67, no. 2. – P. 177–197. – <https://doi.org/10.3989/SCIMAR.2003.67N2177>
6. Knipovitch N. M. Hydrological investigations in the Black Sea. – Moscow : [s. n.], 1932. – 274 p. – (Proceedings of the Azov-Black Sea scientific and commercial expedition / ed. by Knipovitch N. M. ; vol. 10) (in Rus).
7. Koukouras A. Check-list of marine species from Greece : assembled in the framework of the EU FP7 PESI project // World Register of Marine Species (WoRMS) : database. – 2010. – URL: <http://marinespecies.org/aphia.php?p=sourcedetails&id=142068> (date of the application: 26.01.2021).
8. Krapp-Schickel G. Genus *Caprella* Lamarck, 1801 // The Amphipoda of the Mediterranean. Pt. 3. Gammaridea (Melphidippidae to Talitridae), Ingolfiellidea, Caprellidea / Bellan-Santini D. [et al.]. – [Monaco : s. n.], 1993. – P. 773–794. – (Memoires de l'institut oceanographique).
9. Lacerda M., Takeuchi I., Masunari S. Redescription of the rare amphipod crustacean *Pseudaeginella montoucheti* (Quitete, 1971) from Brazil // ZooKeys. – 2011. – Vol. 146. – P. 1–17. – <https://doi.org/10.3897/zookeys.146.1856>
10. McCain J. C., Steinberg J. E. Caprellidae I. Family Caprellidae. – Den Haag : Dr. W. Junk B. V., 1970. – 78 p. – (Crustaceorum Catalogus / eds.: Gruner H. E., Holthuis L. B. ; ps. 2).
11. Miloslavich P., Díaz J. M., Klein E., Alvarado J. J., Díaz C., Gobin J., Escobar-Briones E., Cruz-Motta J. J., Weil E., Cortés J., Bastidas A. C., Robertson R., Zapata F., Martín A., Castillo J., Kazandjian A., Ortiz M. Marine Biodiversity in the Caribbean: Regional Estimates and Distribution Patterns // PLoS ONE. – 2010. – Vol. 5, iss. 8. – e11916. – <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0011916>
12. Richards A. G. The intergument of arthropods. – Minneapolis : Univ. of Minnesota Press, 1951. – 411 p.

13. *Sezgin M., Kosatas A., Katagan T.* Amphipod fauna of the Turkish central Black Sea region // Turkish Journal of Zoology. – 2001. – Vol. 25, iss. 1. – P. 57–61.
14. *Vasilenko S. V.* Caprellids. (skeleton shrimps) of the seas of the USSR and adjacent waters : Order Amphipoda (Families Paracercopidae, Phtisicidae, Caprellidae). – Leningrad : Nauka, 1974. – 288 p. (in Rus).

**ПЕРВАЯ НАХОДКА *CAPRELLA* CF. *EQUILIBRA* SAY, 1818 (AMPHIPODA, CAPRELLIDAE) В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ ЮГО-ЗАПАДА КРЫМА (ЧЁРНОЕ МОРЕ)**

**Гринцов В. А.**

ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН»,

г. Севастополь, Российская Федерация,

e-mail: [vgrintsov@gmail.com](mailto:vgrintsov@gmail.com)

Особи из рода *Caprella* (Amphipoda, Caprellidae) были обнаружены в 2018 г. в обрастании конструкций устричной фермы вблизи прибрежной зоны Севастополя (Крым, Чёрное море). Морфологически особи этого вида близки к виду *Caprella equilibra* Say, 1818. Ранее особи этого вида не были зарегистрированы в Чёрном море. Выборки из поселений этого вида, включающие взрослых самцов, взрослых самок и ювенильных особей, исследовали с 2018 по 2020 г. Исследовали морфологию взрослых самцов, взрослых самок, включая микротрихи. Представлена информация об экологии этого вида.

**Ключевые слова:** амфиподы, *Caprella* cf. *equilibra*, морфология, прибрежная зона Крыма.

Сведения об авторе

Гринцов  
Владимир  
Андреевич

кандидат биологических наук, старший научный сотрудник ФГБУН ФИЦ  
«Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН»,  
[vgrintsov@gmail.com](mailto:vgrintsov@gmail.com)

Поступила в редакцию 27.08.2021 г.

Принята к публикации 30.09.2021 г.

УДК 597.556.333.1-111.1(262.5+262.54)

**ВОЗРАСТНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПРООКСИДАНТНО-АНТИОКСИДАНТНОЙ  
СИСТЕМЫ КРОВИ БЫЧКА-КРУГЛЯКА *NEOGOBIOUS MELANOSTOMUS*  
(PALLAS, 1814) ИЗ ЧЁРНОГО И АЗОВСКОГО МОРЕЙ\***

**Сигачева Т. Б.**

*ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН»,  
г. Севастополь, Российская Федерация,  
e-mail: mtk.fam@mail.ru*

Проведён анализ возрастных изменений показателей прооксидантно-антиоксидантной системы (активности каталазы (КАТ), супероксиддисмутазы (СОД), пероксидазы (ПЕР), глутатионредуктазы (ГР), глутатионтрансферазы (ГТ) и содержания продуктов окислительной модификации белков (ОМБ)) крови бычка-кругляка *Neogobius melanostomus* (Pallas, 1814) из прибрежных районов Чёрного (г. Севастополь) и юго-западной части Азовского морей. Установлено достоверное снижение активности КАТ и ГР в эритроцитах крови рыб из Чёрного моря в возрасте 2+ по сравнению с группой 0+–1+ и увеличение уровня ОМБ в сыворотке крови рыб старших возрастных групп. У азовских бычков отмечена аналогичная зависимость: активность СОД и ГР была достоверно ниже в крови рыб в возрасте 2+ по сравнению с группой 0+–1+. При этом достоверных изменений уровня ОМБ в сыворотке их крови не обнаружено. Выявлен более высокий уровень ОМБ в сыворотке крови бычка-кругляка из Чёрного моря по сравнению с таковым у одновозрастных особей из Азовского моря, что может свидетельствовать о менее экологически благополучном состоянии севастопольских акваторий. Полученные результаты позволяют рекомендовать проведение биоиндикационных исследований с применением показателей прооксидантно-антиоксидантной системы крови бычка-кругляка на особях одной возрастной группы.

**Ключевые слова:** бычок-кругляк, кровь, активность антиоксидантных ферментов, уровень окислительной модификации белков, Чёрное море, Азовское море.

### **Введение**

Для оценки качества водной среды в настоящее время широко применяют методы биоиндикации с использованием показателей прооксидантно-антиоксидантной системы тканей гидробионтов [Экотоксикологические исследования..., 2016]. Анализ соотношения процессов окислительного повреждения биомолекул с буферной ёмкостью антиоксидантной системы (АОС) позволяет оценить адаптационные возможности организма, уровень окислительного стресса (ОС) и качество среды обитания. В то же время соотношение прооксидантно-антиоксидантных реакций в тканях гидробионтов во многом зависит от особенностей их физиологического состояния, в частности от возраста [Stoliar, Lushchak, 2012; De Moura et al., 2017].

При старении, наряду с увеличением образования активных форм кислорода в клетке [Hsu et al., 2008], происходит снижение синтеза антиоксидантных (АО) ферментов и увеличение их чувствительности к металлкаatalизируемому окислению [Davies, Delsignore, 1987]. Это приводит к снижению АО-активности и, как следствие, смещению прооксидантно-антиоксидантных реакций в сторону процессов свободнорадикального окисления (СРО) биомолекул [Stoliar, Lushchak, 2012]. Снижение активности АО-ферментов, увеличение содержания продуктов перекисного окисления липидов (ПОЛ) и окислительной модификации белков (ОМБ) в организме рыб с возрастом было показано в работах ряда авторов [Kishi et al., 2003; Hsu et al., 2008]. На примере многих животных было установлено увеличение доли полиненасыщенных жирных кислот (ПНЖК) в составе липидов клеточных мембран

---

\*Работа выполнена в рамках государственного задания ФИЦ ИнБЮМ по теме: «Закономерности формирования и антропогенная трансформация биоразнообразия и биоресурсов Азово-Черноморского бассейна и других районов Мирового океана», регистрационный № 121030100028-0.

у представителей старших возрастных групп. Последние (ПНЖК) являются предпочтительным субстратом перекисного окисления, что делает клеточные мембраны более чувствительными к ПОЛ [Владимиров, Арчаков, 1972]. При этом гиперпероксидация мембранных липидов угрожает стабильности мембранных структур в целом, отражаясь на состоянии мембраносвязанных протеинов, в том числе белков с каталитической активностью [Маргусевич, Карузин, 2015]. В связи с этим изучение возрастных особенностей показателей прооксидантно-антиоксидантной системы тканей биоиндикаторных видов является необходимым условием для их корректного применения.

Цель работы — изучить активность некоторых АО-ферментов и содержание продуктов ОМБ в крови разных возрастных групп бычка-кругляка из прибрежных районов Чёрного (г. Севастополь) и юго-западной части Азовского морей.

### Материалы и методы

Объектом исследований служил бычок-кругляк *Neogobius melanostomus* (Pallas, 1814) — типичный представитель донной ихтиофауны Азово-Черноморского бассейна. Рыб отбирали в 2003 г. в прибрежных районах Чёрного моря (г. Севастополь) (139 экз.) и юго-западной части Азовского моря (Арабатский залив) (183 экз.). В ходе биологического анализа определяли основные размерно-массовые характеристики рыб, пол и стадию зрелости гонад. Возраст рыб определяли по отолитам. В Чёрном море, в уловах, встречался бычок-кругляк пяти возрастных групп (от 0+ до 4+) с доминированием рыб 1+ и 2+ (41,55 и 32,39 % соответственно). В Азовском море были выявлены четыре возрастные группы (от 0+ до 3+) с доминированием бычков 1+ (72,67 %).

Материалом исследований служила кровь рыб, отобранная из хвостовой артерии. В гемолизатах крови определяли активность пяти АО-ферментов (каталазы (КАТ), супероксиддисмутазы (СОД), пероксидазы (ПЕР), глутатионредуктазы (ГР) и глутатионтрансферазы (ГТ)) методами, описанными нами ранее [Kovyrshina, Rudneva, 2018]. В сыворотке крови анализировали уровень ОМБ по реакции взаимодействия окисленных аминокислотных остатков белков с 2,4-динитрофенилгидразином. Оптическую плотность образовавшихся 2,4-динитрофенилгидразонов регистрировали при следующих длинах волн ( $\lambda$ ): при 356 и 370 нм фиксировали альдегидные ( $C_{356}$ ) и кетонные ( $C_{370}$ ) продукты нейтрального характера, при 430 и 530 нм — альдегидные ( $C_{430}$ ) и кетонные ( $C_{530}$ ) продукты основного характера [Дубинина и др., 1995]. Биохимические анализы проводили на спектрофотометре Specol-211 (Carl Zeiss, Iena, Germany).

Статистический анализ данных осуществляли с использованием t-критерия Стьюдента. Результаты считали достоверными в случае, если  $p \leq 0,05$  [Лакин, 1990].

### Результаты и обсуждение

Предварительный анализ показателей прооксидантно-антиоксидантной системы крови рыб в возрасте 0+ и 1+ не показал достоверных отличий, что позволило объединить их в одну возрастную группу 0+–1+ (табл. 1). Общей тенденцией для бычков из Чёрного и Азовского морей является снижение активности большинства АО-ферментов в возрасте 2+ по сравнению с группой 0+–1+. У черноморских бычков достоверные различия были установлены для КАТ и ГР ( $p \leq 0,001$ ), у азовских — для СОД ( $p \leq 0,001$ ) и ГР ( $p \leq 0,01$ ). В то же время у особей в возрасте 3+ и 4+ была отмечена тенденция увеличения активности отдельных АО-ферментов крови по сравнению с рыбами 2+. Различия достоверны для активности КАТ ( $p \leq 0,05$ ) у черноморских бычков в возрасте 3+, а также ГТ ( $p \leq 0,05$ ) у особей 4+. В противоположность этому активность ПЕР в крови рыб 2+ была достоверно выше по сравнению с аналогичным показателем особей из возрастных групп 0+–1+ ( $p \leq 0,01$ ) и 4+ ( $p \leq 0,05$ ).

Анализ активности АО-ферментов крови одновозрастных особей бычка-кругляка из двух морей позволил установить достоверно более высокую активность КАТ ( $p \leq 0,001$ ), СОД ( $p \leq 0,001$ ) в группе 0+–1+ и КАТ ( $p \leq 0,001$ ) у рыб в возрасте 2+ из Азовского моря по сравнению с бычками из побережья Севастополя. При этом активность ПЕР ( $p \leq 0,01$ ) была достоверно выше в эритроцитах крови рыб всех возрастных групп из Чёрного моря по сравнению с таковой у бычков из юго-западной части Азовского моря.

Таблица 1

Активность антиоксидантных ферментов (мг гемоглобина / мин,  $M \pm m$ ) в крови разновозрастных особей бычка-кругляка из Чёрного и Азовского морей

лет	n	КАТ, мг H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	СОД, усл. ед.	ПЕР, опт. ед.	ГР, нмоль НАДФН	ГТ, нмоль конъюгата
<b>Чёрное море</b>						
0+–1+	60	0,60 ± 0,04	224,60 ± 38,85	10,14 ± 0,95	8,63 ± 1,29	41,64 ± 17,80
2+	56	0,42 ± 0,02*	147,01 ± 18,38	14,16 ± 1,47*	3,47 ± 0,65*	18,87 ± 2,54
3+	41	0,51 ± 0,04●	158,80 ± 23,77	10,40 ± 2,01	4,79 ± 1,25*	17,70 ± 3,21
4+	4	0,87 ± 0,25	209,18 ± 64,13	10,10 ± 0,75●	6,44 ± 4,66	27,70 ± 2,69●■
<b>Азовское море</b>						
0+–1+	142	<b>0,88 ± 0,03</b>	<b>501,80 ± 64,82</b>	<b>6,08 ± 0,41</b>	8,06 ± 0,89	51,36 ± 7,20
2+	23	<b>0,80 ± 0,06</b>	188,76 ± 36,42*	<b>5,58 ± 0,80</b>	4,75 ± 0,70*	33,52 ± 10,40
3+	2	0,84 ± 0,28	278,65 ± 175,90	<b>4,82 ± 0,91</b>	6,89 ± 2,36	6,7

Примечания: \* — достоверность различий с рыбами 0+–1+; ● — с рыбами 2+; ■ — с рыбами 3+; жирным шрифтом обозначена достоверность различий между одновозрастными особями из двух морей.

Содержание продуктов нейтрального характера ( $C_{356}$ ,  $C_{370}$ ,  $p \leq 0,05$ ) и альдегидпроизводных основного характера ( $C_{430}$ ,  $p \leq 0,05$ ) было достоверно выше в сыворотке крови черноморских бычков 4+, так же как и кетопроизводных основного характера у особей в возрасте 2+ и 3+ ( $C_{530}$ ,  $p \leq 0,05$ ) по сравнению с аналогичными показателями особей из группы 0+–1+ (табл. 2). Уровень ОМБ в сыворотке крови разновозрастных особей бычка-кругляка из Азовского моря достоверно не отличался.

Анализ показателей ОС в сыворотке крови одновозрастных бычков из двух морей позволил установить достоверно более высокое содержание продуктов нейтрального ( $C_{356}$ ,  $C_{370}$ ,  $p \leq 0,05$ ) и основного характера ( $C_{430}$ ,  $C_{530}$ ,  $p \leq 0,05$ ) у рыб из Чёрного моря в возрасте 0+–1+ и 2+ по сравнению с аналогичными показателями рыб из Азовского моря. Исключение составил уровень кетопроизводных основного характера у возрастной группы 0+–1+.

Таким образом, исследование возрастной динамики показателей прооксидантно-антиоксидантной системы крови бычка-кругляка из двух морей позволило выявить определённые особенности. У черноморских бычков установлено снижение активности отдельных АО-ферментов в возрасте 2+ по сравнению с группой 0+–1+ и увеличение уровня ОМБ в сыворотке крови рыб старших возрастных групп. У азовских бычков отмечена аналогичная зависимость: активность СОД и ГР достоверно снижалась в крови рыб в возрасте 2+ по сравнению с группой 0+–1+. При этом достоверных изменений содержания окисленных форм белков в сыворотке их крови не установлено. Выявленные особенности могут быть следствием снижения белоксинтезирующей функции печени, а также усиления реакций СРО в организме с возрастом. Снижение активности АО-ферментов [Wdzieczak et al., 1982; Rudneva et al., 2010] и увеличение содержания продуктов ОМБ [Hsu et al., 2008; Скуратовская, 2009] в тканях рыб с возрастом было показано в работах ряда авторов, что соответствует основным положениям

свободнорадикальной теории старения [Harman, 1956]. Так, в исследованиях на разных пресноводных и морских видах рыб было показано снижение активности СОД и КАТ в печени и эритроцитах крови особей старших возрастных групп [Wdzieczak et al., 1982]. Снижение активности СОД и ГР было установлено в печени радужной форели с возрастом [Otto, Moon, 1996]. В большинстве случаев активность АО-ферментов падала в эритроцитах крови морского ерша, налима, султанки, мерланга и спикары старших возрастных групп [Скуратовская, 2009; Rudneva et al., 2010]. При этом общее содержание продуктов ОМБ было выше в сыворотке крови старших возрастных групп морского ерша и мерланга по сравнению с более молодыми [Скуратовская, 2009]. Подобная тенденция отмечена для *Nothobranchius rachovii*, максимальный срок жизни которой составляет 8,5 месяца. Активность КАТ, глутатионпероксидазы, Mn-СОД и Cu, Zn-СОД снижалась, а уровень ПОЛ и ОМБ увеличивался в гомогенатах тканей 7-месячных рыб по сравнению с таковыми у 1- и 4-месячных особей [Hsu et al., 2008].

Таблица 2

Содержание продуктов окислительной модификации белков в сыворотке крови разновозрастных особей бычка-кругляка из Чёрного и Азовского морей (опт. ед. / мл сыворотки,  $M \pm m$ )

лет	n	продукты нейтрального характера		продукты основного характера	
		альдегидные 356 нм	кетонные 370 нм	альдегидные 430 нм	кетонные 530 нм
<b>Чёрное море</b>					
0+–1+	10	5,61 ± 0,90	7,68 ± 1,16	4,27 ± 0,66	0,46 ± 0,11
2+	10	5,65 ± 0,88	9,38 ± 0,97	5,24 ± 0,54	0,90 ± 0,16*
3+	5	7,40 ± 1,68	10,69 ± 2,28	6,54 ± 1,63	0,99 ± 0,19*
4+	3	8,95 ± 0,87*●	13,21 ± 1,90*	7,55 ± 1,02*	1,02 ± 0,27
<b>Азовское море</b>					
0+–1+	50	<b>3,46 ± 0,19</b>	<b>4,53 ± 0,25</b>	<b>2,81 ± 0,16</b>	0,40 ± 0,07
2+	9	<b>2,99 ± 0,47</b>	<b>4,05 ± 0,61</b>	<b>2,53 ± 0,43</b>	<b>0,34 ± 0,10</b>
3+	1	1,60	2,65	0,75	0,10

Примечания: обозначения достоверности различий те же, что и в таблице 1.

В то же время сравнительный анализ показателей ОС (содержания продуктов ОМБ) в сыворотке крови одновозрастных рыб из двух морей показал более высокий уровень ОМБ у рыб Чёрного моря, что свидетельствует о менее экологически благополучном состоянии севастопольских акваторий по сравнению с Арабатским заливом Азовского моря. При этом увеличение активности КАТ и ГТ в эритроцитах крови черноморских бычков в возрасте 3+ и 4+, на фоне увеличения уровня ОМБ в сыворотке их крови, является компенсаторной адаптивной реакцией в условиях хронического загрязнения севастопольских бухт и свидетельствует о развитии патологических состояний в их организме.

### Выводы

1. Активность АО-ферментов крови бычка-кругляка из севастопольских акваторий (КАТ, ГР) и юго-западной части Азовского моря (СОД, ГР) была в 1,5–2 раза ниже у рыб в возрасте 2+ по сравнению с группой 0+–1+. Содержание окисленных форм белков было выше в сыворотке крови рыб старших возрастных групп из прибрежной зоны Севастополя.

2. Сравнительный анализ содержания продуктов ОМБ в сыворотке крови одновозрастных рыб из двух морей показал более высокий уровень ОМБ у бычка-кругляка из Чёрного моря, что свидетельствует о менее экологически благополучном состоянии севастопольских акваторий по сравнению с юго-западной частью Азовского моря.

3. Увеличение активности КАТ и ГТ в эритроцитах крови черноморских бычков в возрасте 3+ и 4+, на фоне увеличения уровня ОМБ в сыворотке их крови, вероятно, является компенсаторной адаптивной реакцией рыб старших возрастных групп в условиях хронического загрязнения севастопольских акваторий.

4. Биоиндикационные исследования с применением показателей прооксидантно-антиоксидантной системы крови бычка-кругляка рекомендовано проводить на одной, предпочтительно доминантной в уловах, возрастной группе рыб.

### Список литературы

1. Владимиров Ю. А., Арчаков А. И. Перекисное окисление липидов в биологических мембранах. – Москва : Наука, 1972. – 252 с.
2. Дубинина Е. Е., Бурмистов С. О., Ходов Д. А., Поротов И. Г. Окислительная модификация белков сыворотки крови человека, метод её определения // Вопросы медицинской химии. – 1995. – № 1. – С. 24–26.
3. Лакин Г. Ф. Биометрия. – 4-е изд., перераб. и доп. – Москва : Высш. шк., 1990. – 352 с.
4. Мартусевич А. К., Карузин К. А. Оксидативный стресс и его роль в формировании дизадаптации и патологии // Биорадикалы и антиоксиданты. – 2015. – Т. 2, № 2. – С. 5–18.
5. Скуратовская Е. Н. Состояние антиоксидантной ферментной системы крови черноморских рыб в условиях комплексного хронического загрязнения : автореф. дис. ... канд. биол. наук : 03.00.04. – Одесса, 2009. – 20 с.
6. Экотоксикологические исследования прибрежной черноморской ихтиофауны в районе Севастополя / Ин-т мор. биол. исслед. им. А. О. Ковалевского, Рос. фонд фундам. исслед. ; [отв. ред. И. И. Руднева]. – Москва : ГЕОС, 2016. – 358 с.
7. Davies K. J. A., Delsignore M. E. Protein damage and degradation by oxygen radicals. III. Modification of secondary and tertiary structure // Journal of Biological Chemistry. – 1987. – Vol. 262, no. 20. – P. 9908–9913. – [https://doi.org/10.1016/S0021-9258\(18\)48020-9](https://doi.org/10.1016/S0021-9258(18)48020-9)
8. De Moura F. R., Brentegani K. R., Gemelli A., Sinhorin A. P., Sinhorin V. D. G. Oxidative stress in the hybrid fish jundiara (*Leiarius marmoratus* × *Pseudoplatystoma reticulatum*) exposed to Roundup Original // Chemosphere. – 2017. – Vol. 185. – P. 445–451. – <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.07.030>
9. Harman D. Aging: a theory based on free radical and radiation chemistry // Journal of Gerontology. – 1956. – Vol. 11, iss. 3. – P. 298–300. – <https://doi.org/10.1093/GERONJ/11.3.298>
10. Hsu Chin-Yuan, Chiu Ya-Chi, Hsu Wei-Lun, Chan Yu-Pei. Age-related markers assayed at different developmental stages of the annual fish *Nothobranchius rachovii* // Journal of Gerontology. Series A, Biological Sciences & Medical Science. – 2008. – Vol. 63, iss. 12. – P. 1267–1276. – <https://doi.org/10.1093/gerona/63.12.1267>
11. Kishi S., Uchiyama J., Baughman A. M., Goto T., Lin M. C., Tsai S. B. The zebrafish as a vertebrate model of functional aging and very gradual senescence // Experimental Gerontology. – 2003. – Vol. 38, iss. 7. – P. 777–786. – [https://doi.org/10.1016/S0531-5565\(03\)00108-6](https://doi.org/10.1016/S0531-5565(03)00108-6)
12. Kovyrshina T. B., Rudneva I. I. The Response of blood biomarkers of the round goby *Neogobius melanostomus* (Pallas, 1814) (Perciformes: Gobiidae) to chronic coastal pollution in the Sea



- of Azov // Russian Journal of Marine Biology. – 2018. – Vol. 44, № 4. – P. 328–333. – <https://doi.org/10.1134/S1063074018040065>
13. Otto D. M. E., Moon T. W. Endogenous antioxidant systems of two teleost fish, the rainbow trout and the black bullhead, and the effect of age // Fish Physiology and Biochemistry. – 1996. – Vol. 15, iss. 4. – P. 349–358. – <https://doi.org/10.1007/BF02112362>
  14. Rudneva I. I., Skuratovskaya E. N., Kuzminova N. S., Kovyrshina T. B. Age composition and antioxidant enzyme activities in blood of Black Sea teleosts // Comparative Biochemistry and Physiology. Pt. C, Toxicology and Pharmacology. – 2010. – Vol. 151, iss. 2. – P. 229–239. – <https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2009.11.001>
  15. Stoliar O. B., Lushchak V. I. Environmental pollution and oxidative stress in fish // Oxidative stress — environmental induction and dietary antioxidants / ed. V. Lushchak. – [S. l.] : IntechOpen, 2012. – P. 131–166. – <https://doi.org/10.5772/38094>
  16. Wdzieczak J., Zalesna G., Wujec E., Peres G. Comparative studies on superoxide dismutase, catalase, and peroxidase levels in erythrocytes and livers of different freshwater and marine fish species // Comparative Biochemistry and Physiology. Pt. B, Comparative Biochemistry. – 1982. – Vol. 73, iss. 2. – P. 361–365. – [https://doi.org/10.1016/0305-0491\(82\)90298-X](https://doi.org/10.1016/0305-0491(82)90298-X)

**AGE FEATURES OF THE PROXIDANT-ANTIOXIDANT BLOOD SYSTEM  
OF THE ROUND GOBY *NEOGOBIOUS MELANOSTOMUS* (PALLAS, 1814) FROM  
THE BLACK SEA AND THE SEA OF AZOV**

**Sigacheva T. B.**

*A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, Russian Federation,  
e-mail: [mtk.fam@mail.ru](mailto:mtk.fam@mail.ru)*

Age-related changes of the prooxidant-antioxidant system parameters (activities of catalase (CAT), superoxide dismutase (SOD), peroxidase (PER), glutathione reductase (GR), glutathione transferase (GT) and oxidized protein levels) in the blood of round goby *Neogobius melanostomus* (Pallas, 1814) from the coastal regions of the Black Sea (Sevastopol) and the Sea of Azov were carried out. A significant decrease in the activity of CAT and GR in blood erythrocytes of fish from the Black Sea at the age of 2+ compared as to the group 0+–1+ and an increase in the oxidized protein levels in the blood serum of older age groups fish were established. In the Azov Sea gobies, a similar relationship was noted — the activity of SOD and GR was significantly lower in the blood of fish aged 2+ as compared to the 0+–1+ group. At the same time, no significant changes in the oxidized protein levels in their blood serum have been established. A higher oxidized protein levels in the round goby serum blood from the Black Sea as compared to that in same age individuals from the Sea of Azov indicates a less ecologically safe state of the Sevastopol waters. The results obtained make it possible to recommend carrying out bioindication studies using prooxidant-antioxidant blood system parameters of round goby in one age group.

**Keywords:** round goby, blood, antioxidant enzyme activities, oxidized protein levels, Black Sea, Sea of Azov.

Сведения об авторе

Сигачева Татьяна Борисовна	кандидат биологических наук, старший научный сотрудник ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», <a href="mailto:mtk.fam@mail.ru">mtk.fam@mail.ru</a>
----------------------------------	---

*Поступила в редакцию 17.08.2021 г.  
Принята к публикации 06.09.2021 г.*

УДК [597.2/5-111:542.943-92'78](262.5.04)

## СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА АКТИВНОСТИ АНТИОКСИДАНТНЫХ ФЕРМЕНТОВ КРОВИ МАССОВЫХ ВИДОВ РЫБ ИЗ ПРИБРЕЖНОЙ АКВАТОРИИ Г. СЕВАСТОПОЛЯ (ЧЁРНОЕ МОРЕ)\*

Скуратовская Е. Н.

ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН»,

г. Севастополь, Российская Федерация,

e-mail: [skuratovskaya@ibss-ras.ru](mailto:skuratovskaya@ibss-ras.ru)

Изучена сезонная динамика активности антиоксидантных ферментов (каталазы, супероксиддисмутаза, пероксидазы, глутатионредуктазы, глутатион-S-трансферазы) в эритроцитах крови морского ерша *Scorpaena porcus*, спикары *Spicara flexuosa*, ставриды *Trachurus mediterraneus* из прибрежной акватории г. Севастополя. Установлено, что активность антиоксидантных ферментов изменяется в течение года, что связано как с существованием сезонных физиологических ритмов у рыб, особенностями их биологии и экологии, так и с различным уровнем антропогенной нагрузки в каждый период года. При оценке состояния рыб и среды их обитания с использованием изученных параметров в качестве биомаркеров необходимо учитывать пределы их естественной вариабельности, что позволит правильно интерпретировать результаты исследований.

**Ключевые слова:** рыбы, биомаркеры, активность антиоксидантных ферментов, сезоны, Чёрное море.

### Введение

В современный период, в связи с усилением антропогенного воздействия на морские прибрежные акватории, разрабатываются специальные программы биомониторинга, основанные на использовании показателей различного биологического уровня, реагирующих на действие неблагоприятных факторов среды. Для обнаружения самых ранних, «сигнальных», изменений в метаболизме гидробионтов применяют молекулярные биомаркеры, позволяющие выявить механизмы воздействия комплекса негативных факторов на конкретные звенья обмена веществ, определить основную стратегию и особенности структурно-функциональных изменений в организме при адаптации к изменяющимся условиям обитания. В качестве таких биомаркеров широко применяют показатели антиоксидантной системы (АОС) [Алешко, Лукьянова, 2008; Немова и др., 2014; Amado et al., Biomarkers of exposure..., 2006; Amado et al., Biomarkers in croakers..., 2006; Stoliar, Lushchak, 2012; Rudneva et al., 2016]. Однако для корректного использования параметров АОС в качестве биомаркеров необходимо знать пределы их естественной вариабельности в популяциях изучаемых видов.

Черноморское побережье Крымского полуострова характеризуется чётким разделением года на сезоны, что требует физиологической адаптации гидробионтов. В зависимости от множества факторов (температура, гидрохимический режим водоёма, обеспеченность пищей, стадии репродуктивного цикла и др.) интенсивность биохимических процессов может значительно варьировать в течение года [Шульман, 1972; Багнюкова, Русинова, Лушчак, 2000]. Литературные данные свидетельствуют о том, что активность антиоксидантных (АО) ферментов рыб подвержена сезонным колебаниям [Грубинко, Леус, 2001; Алешко, Лукьянова, 2008; Ковыршина, 2010; Ronisz, Larsson, Förlin, 2000; Amado et al., Biomarkers of exposure..., 2006; Amado et al., Biomarkers in croakers..., 2006; Pavlović et al., 2010; Nahrgang et al., 2013; Ihuț et al., 2020].

Цель данной работы заключалась в изучении сезонной динамики активности АО-ферментов эритроцитов крови некоторых массовых видов рыб из прибрежной акватории г. Севастополя.

\* Работа выполнена в рамках темы государственного задания ФИЦ ИИБЮМ № 121030100028-0.

## Материалы и методы

Объектами исследований служили три вида черноморских рыб, относящихся к разным экологическим (по условиям обитания) и систематическим группам: морской ёрш *Scorpaena porcus* Linnaeus, 1758 (донный вид), спикара *Spicara flexuosa* Rafinesque, 1810 (придонно-пелагический вид), ставрида *Trachurus mediterraneus* Steindachner, 1868 (пелагический вид). Рыб отлавливали в Карантинной бухте г. Севастополя в 2007–2008 гг. Проводили полный биологический анализ, для определения биохимических параметров использовали особей доминирующей в уловах возрастной группы (2–3 года).

Материалом для исследования служили эритроциты крови. Эритроциты отмывали путём смешивания с 10-кратным объёмом физиологического раствора (0,85 % NaCl) и последующего отделения эритроцитарной массы. Для получения гемолизата в основную массу эритроцитов добавляли дистиллированную воду в соотношении 1 : 4 (по объёму), выдерживали сутки при температуре 4 °С в холодильнике. Полученные гемолизаты разбавляли десятикратно дистиллированной водой и проводили дальнейшие исследования на спектрофотометре Specol 211 (Германия). В эритроцитах определяли активность пяти АО-ферментов — супероксиддисмутазы (СОД), каталазы (КАТ), пероксидазы (ПЕР), глутатионредуктазы (ГР) и глутатион-S-трансферазы (GST) методами, описанными ранее [Rudneva et al., 2016]. Активность ферментов выражали в пересчёте на 1 мг гемоглобина. Результаты обрабатывали статистически, вычисляли среднее арифметическое и стандартную ошибку средней. Достоверность различий между выборками оценивали с применением U-критерия Манна — Уитни. Различия считали достоверными при уровне значимости ( $p < 0,05$ ).

## Результаты и обсуждение

В результате проведённых исследований установлены сезонные вариации активности АО-ферментов. В эритроцитах крови морского ерша активность СОД в летне-осенний период была достоверно выше, чем в зимний ( $p < 0,05$ ). Активность ПЕР достоверно снижалась весной по сравнению с зимним периодом ( $p < 0,05$ ), тогда как активность ГР в летне-осенний период была достоверно выше значений зимне-весеннего периода ( $p < 0,05$ ). Активность КАТ и GST не изменялась в течение года (табл. 1).

Таблица 1

Активность антиоксидантных ферментов (на мг гемоглобина / мин,  $M \pm m$ ) в эритроцитах крови морского ерша в разные сезоны года

Фермент	Зима n = 40	Весна n = 45	Лето n = 60	Осень n = 46
СОД, усл. ед.	122,11 ± 7,78	142,48 ± 10,61	146,42 ± 8,73*	159,86 ± 10,05*
КАТ, мг H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	0,44 ± 0,02	0,43 ± 0,02	0,40 ± 0,01	0,42 ± 0,03
ПЕР, опт. ед.	32,90 ± 1,39	26,43 ± 1,49*	29,12 ± 1,01	29,12 ± 2,09
ГР, нмоль НАДФН	1,91 ± 0,38	1,39 ± 0,23	2,62 ± 0,31* •	2,93 ± 0,48* •
GST, нмоль конъюгата	11,37 ± 2,18	9,10 ± 1,02	10,70 ± 1,01	11,47 ± 1,42

Примечание: \* — различия достоверны по сравнению с зимним периодом, • — весенним ( $p < 0,05$ ); n — количество особей

В эритроцитах крови спикары активность СОД была минимальной зимой по сравнению с остальными сезонами ( $p < 0,05$ ), максимальные значения отмечены в летний период ( $p < 0,05$ ). Активность КАТ достоверно повышалась в весенне-летний период по сравнению с осенне-зимним ( $p < 0,05$ ). Активность GST имела максимальные значения весной и летом и достоверно превышала показатели рыб в осенне-зимний период ( $p < 0,05$ ). Активность ПЕР и ГР не изменялась в течение года (табл. 2).

Таблица 2

**Активность антиоксидантных ферментов (на мг гемоглобина / мин, М ± m)  
в эритроцитах крови спикары в разные сезоны года**

Фермент	Зима n = 24	Весна n = 20	Лето n = 25	Осень n = 22
СОД, усл. ед.	131,08 ± 18,40	198,47 ± 12,94*	298,40 ± 53,54* •	210,56 ± 15,55*
КАТ, мг H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	0,36 ± 0,03	0,45 ± 0,02*■	0,68 ± 0,15*•■	0,35 ± 0,03
ПЕР, опт. ед.	8,62 ± 1,61	8,34 ± 1,09	6,33 ± 1,60	9,23 ± 2,57
ГР, нмоль НАДФН	2,70 ± 0,37	3,34 ± 0,59	3,51 ± 0,27	4,29 ± 0,83
GST, нмоль конъюгата	7,31 ± 1,21	18,42 ± 2,76*■	17,21 ± 3,35*■	8,79 ± 2,30

Примечание: \* — различия достоверны по сравнению с зимним периодом, • — весенним, ■ — осенним (p < 0,05); n — количество особей

Параметры АО-ферментов в крови ставриды также подвержены сезонным колебаниям (табл. 3). Активность СОД была минимальной в зимний период по сравнению с остальными сезонами (p < 0,05). По сравнению с другими периодами года активность КАТ имела максимальные значения весной и летом (p < 0,05), тогда как ПЕР — зимой (p < 0,05). Активность ГР увеличивалась в летне-осенний период по сравнению с зимне-весенним (p < 0,05). Активность GST не изменялась в течение года.

Таблица 3

**Активность антиоксидантных ферментов (на мг гемоглобина / мин, М ± m)  
в эритроцитах крови ставриды в разные сезоны года**

Фермент	Зима n = 17	Весна n = 14	Лето n = 46	Осень n = 61
СОД, усл. ед.	111,31 ± 24,38	185,52 ± 19,58*	213,72 ± 28,81*	246,77 ± 26,19*
КАТ, мг H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	0,27 ± 0,01•	0,49 ± 0,04	0,32 ± 0,02*•■	0,27 ± 0,01•
ПЕР, опт. ед.	29,38 ± 3,81	14,58 ± 3,86*	14,54 ± 2,26*	19,11 ± 2,87*
ГР, нмоль НАДФН	2,86 ± 0,51	2,53 ± 0,98	4,16 ± 0,36*•	4,59 ± 0,32*•
GST, нмоль конъюгата	19,21 ± 4,30	19,73 ± 6,44	21,39 ± 2,27	20,13 ± 4,11

Примечание: \* — различия достоверны по сравнению с зимним периодом, • — весенним, ■ — осенним (p < 0,05); n — количество особей

Изменение активности АО-ферментов в течение года у исследованных видов рыб может быть связано как с существованием сезонных физиологических ритмов, обусловленных колебаниями температурного, водно-солевого режима водоёма, обеспеченностью пищей, потреблением кислорода [Шульман, 1972; Тканевый обмен..., 1983; Эмеретли, 1990], так и с различным уровнем антропогенной нагрузки в каждый период года. При этом обе группы факторов тесно взаимосвязаны между собой. С одной стороны, с повышением температуры наблюдается интенсификация обменных процессов в организме рыб, подготовка к нересту и нерест. Преднерестовый и нерестовый периоды, приходящиеся у исследованных видов на весенний и летний сезоны, соответственно, характеризуются высоким уровнем метаболизма и сопровождаются интенсивным питанием [Шульман, 1972; Багнюкова, Русинова, Луцак, 2000]. В это время у рыб отмечен максимальный уровень тканевого дыхания [Столбов, 1990]. С другой стороны, в связи с повышением температуры увеличивается рекреационная нагрузка на прибрежные акватории, что способствует попаданию в организм биогеоценоза и ксенобиотиков в высоких концентрациях. Также осенью происходят процессы разложения фито- и зоопланктона, в результате чего в морскую среду проникают дополнительные органические соединения [Ковыршина, 2010]. Все эти факторы вызывают повышение АО-ферментативной активности в весенне-летний и осенний периоды: СОД и ГР у морского ерша; СОД, КАТ, GST у спикары; СОД, КАТ, ГР у ставриды.

Зимой, в связи с понижением температуры воды, уровень метаболизма, тканевое дыхание, потребление кислорода и интенсивность питания у рыб снижаются [Шульман, 1972]. Рекреационная нагрузка на места обитания минимальна, в связи с чем активность АО-ферментов в крови в данный период года снижается. В то же время повышение активности ПЕР на фоне снижения активности СОД, КАТ и ГР в эритроцитах крови ставриды в зимний период может быть результатом компенсаторной реакции АО-ферментативной системы.

Изменение АО-ферментативной активности в тканях рыб в течение года показано другими исследователями. В частности, отмечено увеличение активности КАТ и GST в печени жёлтого горбыля *Micropogonias furnieri* в летний период по сравнению с зимним [Amado et al., Biomarkers in croakers..., 2006]. Установлены максимальные значения активности КАТ в печени бразильской камбалы *Paralichthys orbignyanus* весной по сравнению с другими периодами года, тогда как для GST сезонных изменений активности не обнаружено [Amado et al., Biomarkers of exposure..., 2006]. У байкальского омуля *Coregonus autumnalis migratorius* активность СОД в эритроцитах крови в весенний период была максимальной по сравнению с другими сезонами [Дубинина и др., 1988]. Активность СОД и GST в печени бразильского геофагуса *Geophagus brasiliensis*, а также уровень потребления кислорода весной были значительно выше, чем в осенний период [Filho et al., 2001].

Повышение активности СОД у морского ерша (табл. 1), СОД, КАТ и GST у спикары (табл. 2), СОД и КАТ у ставриды (табл. 3) в весенний период по сравнению с зимним, вероятно, связано как с подготовкой к нересту, так и с большей аэрацией воды и, соответственно, высоким потреблением кислорода. Перед нерестом ферменты АОС, наряду с процессами детоксикации поллютантов, осуществляют метаболизм физиологически активных веществ, в связи с чем их активность возрастает. В частности, установлено повышение активности GST в печени бельдюги *Zoarces viviparous* и полосатой камбалы *Liopsetta pinnifasciata* в преднерестовый период, что обусловлено интенсивными процессами созревания гонад [Алешко, Лукьянова, 2008; Ronisz, Larsson, Förlin, 2000].

В наших исследованиях следует отметить незначительные колебания активности АО-ферментов в эритроцитах крови морского ерша на протяжении года по сравнению с другими видами рыб, что, вероятно, связано с оседлым образом жизни, постоянным антропогенным прессингом и ограниченной кормовой базой. Как известно, если температура в пределах климатической зоны определяет направленность метаболизма, то его интенсивность зависит в основном от состояния кормовой базы и возможностей её усвоения. Именно поэтому мигранты (ставрида, спикара), имеющие более широкий ареал, чем оседлые рыбы (морской ёрш), интенсивнее потребляющие пищу, характеризуются более широкой амплитудой сезонных физиологических ритмов [Шульман, 1972].

## Выводы

1. Активность АО-ферментов в эритроцитах крови рыб подвержена сезонным изменениям, обусловленным особенностями биологии и экологии исследованных видов, физиологическим состоянием особей, потреблением кислорода, кормовой базой, колебаниями температуры воды в течение года, а также уровнем антропогенного загрязнения.

2. Температура воды влияет на активность АО-ферментов как непосредственно, активируя обмен веществ у рыб, так и косвенно, за счёт увеличения рекреационной нагрузки и концентрации ксенобиотиков в прибрежной зоне в тёплое время года, что в свою очередь стимулирует работу антиоксидантной системы посредством повышения ферментативной активности: СОД и ГР у морского ерша; СОД, КАТ, GST у спикары; СОД, КАТ, ГР у ставриды.

3. При оценке состояния рыб и среды их обитания с использованием изученных параметров в качестве биомаркеров необходимо учитывать пределы их естественной вариабельности, что позволит правильно интерпретировать результаты исследований.

## Список литературы

1. Алешко С. А., Лукьянова О. Н. Сезонные изменения некоторых параметров биотрансформации и антиоксидантной системы в печени полосатой камбалы *Lipsetta pinnifasciata* из Амурского залива Японского моря // Биология моря. – 2008. – Т. 34, № 2. – С. 148–151.
2. Багнокова Т. В., Русинова О. С., Луцк В. И. Сезонные изменения некоторых физиолого-биохимических и морфологических показателей султанки *Mullus barbatus ponticus* Essipov // Гидробиологический журнал. – 2000. – Т. 36, № 3. – С. 23–30.
3. Грубинко В. В., Леус Ю. В. Перекисное окисление липидов и антиоксидантная защита у рыб (обзор) // Гидробиологический журнал. – 2001. – Т. 37, № 1. – С. 64–78.
4. Дубинина Е. Е., Данилова Л. А., Ефимова Л. Ф., Соловьёв А. Л., Бейм А. М. Активность супероксиддисмутазы и содержание метгемоглобина в эритроцитах человека и животных // Журнал эволюционной биохимии и физиологии. – 1988. – Т. 24, № 2. – С. 171–175.
5. Ковыришина Т. Б. Особенности антиоксидантной ферментативной системы крови черноморского бычка-кругляка *Neogobius melanostomus* в нерестовый период // Современные проблемы физиологии и биохимии водных организмов : сб. науч. ст. / Рос. акад. наук, Отд-ние биол. наук РАН ; редкол.: Н. Н. Немова [и др.]. – Петрозаводск : Карел. науч. центр РАН, 2010. – Т. 1. – С. 80–83.
6. Немова Н. Н., Мещерякова О. В., Лысенко Л. А., Фокина Н. Н. Оценка состояния водных организмов по биохимическому статусу // Труды Карельского научного центра Российской академии наук. – 2014. – № 5. – С. 18–29.
7. Столбов А. Я. Тканевое дыхание и дыхательные коэффициенты черноморских рыб в различные периоды годового цикла // Биоэнергетика гидробионтов / АН УССР, Ин-т биологии юж. морей им. А. О. Ковалевского ; под ред. Г. Е. Шульмана, Г. А. Финенко. – Киев : Наук. думка, 1990. – С. 160–166.
8. Тканевый обмен у рыб / В. И. Беляев, В. М. Николаев, Г. Е. Шульман, Т. В. Юнева ; под общ. ред. Г. Е. Шульмана. – Киев : Наук. думка, 1983. – 144 с.
9. Шульман Г. Е. Физиолого-биохимические особенности годовых циклов рыб. – Москва : Пищ. пром-сть, 1972. – 368 с.
10. Эмеретли И. В. Активность ферментов энергетического обмена у черноморских рыб // Биоэнергетика гидробионтов / АН УССР, Ин-т биологии юж. морей им. А. О. Ковалевского ; под ред. Г. Е. Шульмана, Г. А. Финенко. – Киев : Наук. думка, 1990. – С. 178–189.
11. Amado L. L., Robaldo R. B., Geracitano L., Monserrat J. M., Bianchini A. Biomarkers of exposure and effect in the Brazilian flounder *Paralichthys orbignyanus* (Teleostei: Paralichthyidae) from the Patos Lagoon estuary (Southern Brazil) // Marine Pollution Bulletin. – 2006. – Vol. 52, iss. 2. – P. 207–213. – <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2005.11.007>
12. Amado L. L., da Rosa C. E., Leite A. M., Moraes L., Pires W. V., Pinho G. L. L., Martins C. M. G., Robaldo R. B., Nery L. E. M., Monserrat J. M., Bianchini A., Martinez P. E., Geracitano L. A. Biomarkers in croakers *Micropogonias furnieri* (Teleostei: Sciaenidae) from polluted and non-polluted areas from the Patos Lagoon estuary (Southern Brazil): Evidences of genotoxic and immunological effects // Marine Pollution Bulletin. – 2006. – Vol. 52, iss. 2. – P. 199–206. – <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2005.11.006>
13. Filho D. W., Torres M. A., Tribess T. B., Pedrosa R. C., Soares C. H. L. Influence of season and pollution on the antioxidant defenses of the cichlid fish acara (*Geophagus brasiliensis*) // Brazilian Journal of Medical and Biological Research. – 2001. – Vol. 34, iss. 6. – P. 719–726. – <https://doi.org/10.1590/S0100-879X2001000600004>
14. Ihuț A., Răducu C., Cocan D., Uiuu P., Lațiu C., Mireșan V., Munteanu C., Luca T. I., Rus V. Seasonal variation of blood biomarkers in huchen, *Hucho hucho* (Actinopterygii: Salmoniformes: Salmonidae) reared in captivity // Acta Ichthyologica Et Piscatoria. – 2020. – Vol. 50, iss. 4. – P. 381–390. – <https://doi.org/10.3750/AIEP/02836>

15. Nahrgang J., Evenset A., Camus L., Jonsson M., Smith T. J., Lukina J., Frantzen M., Renaud P. E., Brooks S. J., Giarratano E. Seasonal variation in biomarkers in blue mussel (*Mytilus edulis*), icelandic scallop (*Chlamys islandica*) and atlantic cod (*Gadus morhua*) — implications for environmental monitoring in the Barents Sea // *Aquatic Toxicology*. – 2013. – Vol. 127. – P. 21–35. – <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2012.01.009>
16. Pavlović S. Z., Borković S. S., Radovanović T. B., Perendija B. R., Despotović S. G., Gavrić J. P., Saičić Z. S. Seasonal variations of the activity of antioxidant defense enzymes in the red mullet (*Mullus barbatus* L.) from the Adriatic Sea // *Marine Drugs*. – 2010. – Vol. 8, iss. 3. – P. 413–428. – <https://doi.org/10.3390/md8030413>
17. Ronisz D., Larsson D. G. J., Förlin L. Seasonal variations in the activity of selected hepatic biotransformation and antioxidant enzymes in eelpout (*Zoarces viviparus*) // *Marine Environmental Research*. – 2000. – Vol. 50, iss. 1–5. – P. 438–439. – [https://doi.org/10.1016/S0141-1136\(00\)00213-0](https://doi.org/10.1016/S0141-1136(00)00213-0)
18. Rudneva I. I., Skuratovskaya E. N., Chesnokova I. I., Shaida V. G., Kovyrshina T. B. Biomarker response of Black Sea scorpion fish *Scorpaena porcus* to anthropogenic impact // *Advances in Marine Biology* / eds.: A. Kovács, P. Nagy. – New York : Nova Publ., [2016]. – Vol. 1. – P. 119–147.
19. Stoliar O. B., Lushchak V. I. Environmental pollution and oxidative stress in fish // *Oxidative stress – environmental induction and dietary antioxidants* / ed. V. Lushchak. – [S. l.] : IntechOpen, 2012. – P. 131–166. – <https://doi.org/10.5772/38094>

**SEASONAL DYNAMICS OF THE ANTIOXIDANT ENZYME ACTIVITIES IN BLOOD OF MASS FISH SPECIES FROM SEVASTOPOL COASTAL AREA (THE BLACK SEA)  
Skuratovskaya E. N.**

*A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, Russian Federation,  
e-mail: [skuratovskaya@ibss-ras.ru](mailto:skuratovskaya@ibss-ras.ru)*

The seasonal dynamics of the antioxidant enzyme activities (catalase, superoxide dismutase, peroxidase, glutathione reductase, glutathione-S-transferase) in the blood erythrocytes of black scorpionfish *Scorpaena porcus*, pickarel *Spicara flexuosa*, horse mackerel *Trachurus mediterraneus* from the Sevastopol coastal area are investigated. It has been revealed that activity of the antioxidant enzymes changes throughout the year. It is associated with the existence of the seasonal physiological rhythms in fish, peculiarities of their biology and ecology as well as the different level of anthropogenic impact in each period of the year. When assessing the state of fish and their habitats by using the studied parameters as biomarkers, it is of importance to take into consideration the limits of their natural variability to interpret correctly the research results.

**Keywords:** fish, biomarkers, antioxidant enzyme activities, seasons, Black Sea.

Сведения об авторе

Скуратовская Екатерина Николаевна	кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», <a href="mailto:skuratovskaya@ibss-ras.ru">skuratovskaya@ibss-ras.ru</a>
---	---

*Поступила в редакцию 23.08.2021 г.  
Принята к публикации 12.10.2021 г.*

УДК 594.1-113.4(262.5.04)

## ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССОВ ТКАНЕВОГО РОСТА У ЧЕРНОМОРСКИХ ВИДОВ ДВУСТВОРЧАТЫХ МОЛЛЮСКОВ В ПРИБРЕЖНЫХ БИОЦЕНОЗАХ СЕВАСТОПОЛЯ И ЮЖНОБЕРЕЖНОГО КРЫМА (1987–2018 гг.) \*

Щербань С. А.

ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН»,

г. Севастополь, Российская Федерация,

e-mail: [Shcherbansa@yandex.ru](mailto:Shcherbansa@yandex.ru)

Представлен обзор собственных и литературных данных по морфофизиологическим и биохимическим показателям процессов тканевого роста у двустворчатых моллюсков Чёрного моря: черноморской мидии *Mytilus galloprovincialis* (Lam.), устрицы *Crassostrea gigas* (Thunberg, 1783), анадара *Anadara kagoshimensis* (Tokunaga, 1906) и гребешка *Flexopecten glaber ponticus* (Bucquoy, Dautzenberg & Dollfus, 1889), обитающих в прибрежных биоценозах Севастополя и южнобережного Крыма. Критериями оценки являлись такие основные показатели, как сырая и сухая масса, содержание суммарных рибонуклеиновых кислот (РНК), ДНК, содержание белка, а также ростовые индексы РНК / ДНК и РНК / сырая масса.

**Ключевые слова:** черноморская мидия, устрица, анадара, черноморский гребешок, сырая масса, суммарные рибонуклеиновые кислоты (сум. РНК), индекс РНК / ДНК, биосинтез белка, мягкие ткани, скорость роста, двустворчатые моллюски, Чёрное море.

### Введение

Скорость роста массы тканей является наиболее важным, если не основным показателем продукционного потенциала популяций. Для разных видов двустворчатых моллюсков, обитающих в прибрежных биоценозах, характерна разная скорость аллометрического роста, соотношение объёма и веса раковины, межстворочной жидкости и массы тканей. Это имеет немаловажное значение, в особенности для двустворок, которые являются объектами марикультуры или в перспективе претендуют на эту роль. Мидии, устрицы и анадара относятся к таким видам. Они же и наиболее изученные виды моллюсков Чёрного моря. К примеру, ряд исследователей в последнее десятилетие считают черноморскую анадара перспективным объектом культивирования [Вялова, 2011; Пиркова, 2012; Жаворонкова, Золотницкий, 2014].

Морфометрические методы оценки роста, на наш взгляд, должны дополняться физиологическими и биохимическими параметрами. К таковым относятся величины содержания суммарных фракций рибонуклеиновых кислот (сум. РНК), содержание белка, ростовой индекс (индекс мощности синтеза протеина) РНК / ДНК, индекс РНК / сырая масса и ряд других параметров. В гидробиологической практике можно применять чаще два показателя — содержание сум. РНК и индекс РНК / ДНК в качестве индикаторных параметров «мгновенной скорости» роста организмов (или тканей) на ювенильных и ранних стадиях развития, а также для характеристики особенностей синтеза белка (и его тканевой ретенции) в связи с годовыми жизненными циклами в оценке онтогенетических особенностей тканевого роста.

В вопросах структурно-функционального разнообразия в популяциях двустворчатых моллюсков немаловажную роль играет изучение особенностей генеративного синтеза у самцов и самок, а также особенностей, связанных с принадлежностью к разным фенотипам (для полиморфных видов). Это даёт характеристику эффективности плодовитости и темпов роста внутри

---

\* Работа подготовлена по теме государственного задания ФИЦ ИнБЮМ № 121041400077-1 «Функциональные, метаболические и токсикологические аспекты существования гидробионтов и их популяций в биотопах с различным физико-химическим режимом».



популяции. Изучение процесса белкового синтеза у разных фенотипических групп позволяет выявить наличие сопряжённости функции роста (или её отсутствие) с принадлежностью к разным цветовым морфам.

В последние два-три года исследования были направлены на изучение краснокнижного вида — черноморского гребешка (*Flexopecten glaber ponticus*). Отсутствие информации о запасах, популяционных характеристиках, сезонной динамике встречаемости и репродуктивных возможностях черноморского гребешка в природных местах обитания не позволяют говорить о достаточной изученности вида, а значит, и его роли в освоении морской акватории Крыма. По крайней мере, отсутствие личинок в планктоне в период с 2014 по 2017 г. свидетельствует о факте сокращения его численности [Лисицкая, 2017]. Изучение структуры донных сообществ и её трансформации в наиболее обширных биоценозах мидии, фазеолины и абры на глубинах от 10 до 100 м в конце 70-х — начале 90-х годов показал наличие поселений гребешка в северной и западной частях Чёрного моря, на глубинах до 30 м [Самышев, Золотарев, 2018]. Если мидии, устрицы и в последние два десятилетия анадара встречаются в локальных и поясных сообществах бентали Чёрного моря очень часто, то гребешок — редко. По данным Н. К. Ревкова [Ревков, 2018], в настоящее время при бентосном исследовании акваторий Крыма (за исключением Каркиницкого залива) и Егорлыцкого залива отмечаются лишь редкие находки. Может, и по этой причине работ по росту отдельных популяционных групп в естественной среде крайне мало, а данные по морфометрии, аллометрии роста, годовым приростам и особенностям тканевого роста у *F. ponticus* за последние десятилетия отсутствуют.

Основная цель работ данного направления заключалась в изучении ростовых процессов у представителей двустворчатых моллюсков прибрежных акваторий Чёрного моря. Ставились следующие задачи:

1. Выявить размерно-возрастные, половые и фенотипические особенности тканевого роста (соматического и генеративного) у массовых видов двустворчатых моллюсков в условиях их естественного обитания.
2. Изучить тканевую специфику процессов роста у черноморских моллюсков в экспериментальных условиях, при создании заданных параметров внешнего стресса.
3. Провести мониторинговые исследования линейного, общего весового и тканевого роста на разных популяционных группах черноморской мидий (на протяжении годовых циклов в естественных биоценозах) и молоди устриц (при искусственном выращивании) в условиях Чёрного моря.

Основными критериями оценки являлись такие показатели, как сырая и сухая масса, содержание суммарных рибонуклеиновых кислот (РНК), ДНК, содержание белка, а также ростовые индексы РНК / ДНК и РНК / сырая масса.

## Материалы и методы

Работы выполнялись на молоди видов, на взрослых особях разных размерно-возрастных групп, собранных одномоментно на одном полигоне. Период исследований — с 1987 по 2018 г. Отбор проб осуществляли в прибрежных акваториях Севастополя — бухтах Казачьей, Стрелецкой, Карантинной и районах ЮБК — бухте Ласпи и Голубом заливе (пос. Качивели).

В большинстве работ представленные данные характеризовали состояние весовых параметров и уровень «мгновенных скоростей роста» тканей моллюсков в данный период исследований их жизненного цикла (период относительно стабильного роста, покоя, периоды подготовки к нересту и т. д.). Такие работы проводились в период с 1999 по 2018 г. на следующих объектах: мидии, анадара и гребешок. Мониторинговые исследования линейного, общего весового и тканевого роста проведены на массовом виде — черноморской мидии *Mytilus galloprovincialis* в период с 1987 по 1989 г. и на молоди устриц *Crassostrea gigas* в период с 2008 по 2009 г.

Морфофизиологические показатели определяли по следующим критериям: длина и вес раковины, сырая масса общая, масса мягких тканей, относительные величины массы раковины, также рассчитывались аллометрические зависимости. Связи между признаками оценивались по шкале Чеддока [Сысоев, 2003].

Длину каждого моллюска измеряли штангенциркулем с точностью до 0,1 см. Далее осуществляли измерения общей сырой массы особи, сырой массы выделенных мягких тканей, предварительно подсушенных на фильтровальной бумаге до исчезновения мокрого следа.

В тканях (гепатопанкреас, жабры, нога, мантия, гонады (для мидий и анадары)) и общих гомогенатах (для устриц, молоди анадары и гребешка) определяли содержание свободных нуклеотидов (СН), суммарных рибонуклеиновых кислот (сум. РНК и ДНК-фракций) видоизменённым методом А. С. Спирина [Спирин, 1958; Дивавин, 1980]. В лабораторных исследованиях на анадаре с применением стрессовых нагрузок (голод и аноксия) измеряли аминокислотный пул и содержание белка по методу Лоури [Lowry et al., 1951].

Общая схема обработки тканей имела следующую последовательность: сырые ткани гомогенизировали, в ряде исследований гомогенаты высушивали для получения значений сухих масс, навески гомогенатов массой от 50 до 80–90 мг промывали трижды четырьмя мл смеси Фолча (хлороформ — метанол в соотношении 2 : 1) для устранения пигментных и липидных компонентов. Далее в обезжиренных пробах тканей определяли вышеуказанные биохимические параметры с последующим измерением их значений спектрофотометрически (с помощью прибора СФ-46, методом разностей экстинкций при длинах волн 270 и 290 нм) [Дивавин, 1980]. Результаты измерений выражали в мкг/мг сырой или мкг/мг сухой ткани. На основе полученных значений суммарных РНК и ДНК рассчитывали ростовой индекс РНК / ДНК.

### Результаты исследований и обсуждение

Наибольшее количество исследований проведено на черноморской мидии *M. galloprovincialis* в период с 1987 по 2008 г. Одно из первых исследований в данной области имело целью установить корреляции между рядом физиолого-биохимических параметров: сырой массой, сухой массой, содержанием белка, сум. РНК и расчётным ростовым индексом РНК / ДНК — у мидий в условиях аквариальных систем с учётом ряда физически важных параметров внешней среды обитания вида.

Мидии были взяты из локальной природной популяции, населяющей жёсткие грунты в бухте Казачьей, в 1988 году. На значительной выборке (170 экз.) неполовозрелых мидий в течение 30 суток следили за ростом моллюсков в проточной аквариальной системе, при аналогичной температуре морской воды, на естественном корме. Промеры всех характеристик осуществляли с интервалом в двое суток [Shcherban, 1992; Щербань, 1995]. В ходе эксперимента, плавно, параллельно с увеличением массы, увеличивались значения содержания белка: с 8,4 до 11,03 % сырой массы в конце эксперимента и с 51,11 до 62,93 % сухой массы в конце эксперимента. Показатели содержания белка и сум. РНК имели схожую динамику [Shcherban, 1992; Щербань, 1995]. На 12-е сутки эксперимента значения индекса увеличивались с 12,12 до 14,63 у. е. Рассчитывались также уравнения линейной регрессии: зависимость значений индекса РНК / ДНК от содержания белка в сухой и сырой массе мягких тканей. Получены коэффициенты корреляции — 0,74 и 0,77 соответственно, при уровне значимости  $p = 0,01$ , что свидетельствовало о наличии положительной связи [Shcherban, 1992; Щербань, 1995].

Мониторинговые сравнительные исследования роста природных популяций мидии из района Южного берега Крыма (б. Ласпи) и б. Казачьей (Севастополь) проводились в трёхгодичный период, с 1987 по 1989 г., с целью дать оценку скорости роста при разных условиях обитания, анализируя при этом параметры роста на протяжении годового цикла. Изучалась динамика

линейного и весового роста у разных размерно-возрастных групп в двух прибрежных районах обитания. Мидий собирали со свай в б. Казачьей и с коллекторов мидийной фермы в б. Ласпи. Анализировали 3 группы длиной 30, 50 и 70 мм. Моллюсков помещали в садки, промеры осуществляли каждые 25–35 суток [Аболмасова, Щербань, 1991; Щербань, Аболмасова, 1991]. Рассчитаны годовые приросты. Мидии из б. Ласпи по темпам роста превосходили моллюсков из б. Казачьей. Так, линейный прирост наиболее интенсивен у годовиков из б. Ласпи — 12 мм и 8,7 мм соответственно. Линейные приросты моллюсков с максимальными размерами составляли также 11,0 мм для мидий из б. Ласпи и 8,5 мм для мидий из б. Казачьей. Сравнительный анализ линейного роста всех групп мидий из биотопов обеих бухт выявил более интенсивный рост ласпинской популяции, что мы связывали с интенсивными стгонно-нагонными течениями и, как следствие, более обильным содержанием концентрации органического детрита.

При анализе годовых приростов сырой массы у мидий из б. Казачьей отмечены более низкие значения по сравнению с таковыми в б. Ласпи. Годовые приросты сухого и сырого вещества имели одинаковую тенденцию: увеличение значений с возрастом. Разница прироста по сухому веществу составляла 1,2 раза у особей размером в 50 мм, 1,3 раза — у особей размером в 70 мм и 2,2 раза — у годовиков. Во всех группах в апреле — июне и сентябре — декабре отмечены большие перепады массы тела, что связано с нерестовыми периодами. При таких ростовых различиях сохранялась динамика масс на протяжении годовых циклов. Полученные данные по сухому веществу позволили констатировать синхронность процессов гаметогенеза в популяциях мидий в обеих бухтах [Аболмасова, Щербань, 1991; Щербань, 1995]. Данные нашего мониторингового наблюдения позволили количественно оценить ход репродуктивного цикла, а значительные колебания массы тканей на нерестовых стадиях — связывать с частичным или полным выметом половых продуктов.

У разновозрастных особей мидий, относящихся к разным фенотипическим группам, изучались показатели роста соматической (ткань мантийных лепестков) и генеративной тканей [Щербань, 2000]. Анализ особенностей тканевого роста обозначил специфику белкового биосинтеза. В результате проведённых исследований на трёх видах морф (чёрной, тёмно-коричневой и коричневой) были получены достоверные различия ростовых параметров и выявлен фенотип (чёрная морфа) с максимальным темпом соматического роста [Щербань, 2000]. Также установлено, что тканевые гомогенаты сеголеток мидий имели те же фенотипические особенности, что и гомогенаты соматических тканей половозрелых моллюсков.

Ряд проводимых исследований имел целью установить особенности репродуктивного синтеза у самцов и самок мидий, относящихся к разным морфам (чёрной, коричневой и смешанной (чёрно-коричневой с продольными полосами)) на разных стадиях подготовки к нересту. Материал получали в разные годы и в разных акваториях: весной 1998 г. исследовали одноразмерные мидии ( $40,0 \pm 1,5$  мм) коллекторных линий из б. Ласпи, в период с марта по июнь 2005 г. и с апреля по июнь 2007 г. — одноразмерные особи 50–55 мм, собранные с коллекторов мидийного хозяйства в б. Казачьей. Полученные результаты свидетельствовали о том, что максимальные величины суммарных РНК и ДНК получены на стадии вымета, а уровень белкового синтеза в гонадах мидий аналогичных стадий, оцениваемый по содержанию сум. РНК и ростовому индексу РНК / ДНК, одинаков у всех трёх изучаемых морф. Его интенсивность достоверно выше ( $p < 0,05$ ) у коричневой морфы на 4–5-й стадии цикла [Щербань, 2000; Щербань, 2014].

Анализ весенних проб 2007 г. включал ещё один редкий для мидий фенотип — альбиносы. Встречаемость его внутри популяции составляет не больше 3–5 %. Детальная характеристика особенностей генеративного синтеза у основных цветовых морф мидий, включая «альбиносную», представлена в работе авторов [Щербань, Вялова, 2008]. С высокой степенью достоверности данных ( $p < 0,01$ ) определён фенотип депигментированной морфы (альбиносы) с высоким уровнем репродуктивного синтеза.

Более детально изучались особи чёрного фенотипа как наиболее многочисленная фенотипическая группа в популяции. Исследовались все стадии зрелости гонад, определялось содержание суммарных РНК и ДНК в половых продуктах самцов и самок мидий этой морфы на разных стадиях цикла как в условиях природного нереста, так и при его температурной стимуляции. Пол и стадию зрелости гонад определяли по 6-балльной шкале [Финенко, Романова, Аболмасова, 1990].

Полученные биохимические параметры роста в генеративной ткани обоих полов этой цветовой морфы на разных стадиях подготовки их к нересту, а также постнерестовых гонадах показали, что содержание нуклеиновых кислот заметно возрастает по мере их созревания, от 1-й до 4-й стадии, достигая максимума на 5-й стадии (нерест) [Щербань, Вялова, 2008]. Другие исследования (работа проводилась на одноразмерных мидиях длиной  $60,1 \pm 4,0$  мм, привезённых с коллекторов фермы в бухте Ласпи (ЮБК) в феврале и апреле 2009 г.) показали, что содержание сум. РНК у самцов 3–4-й преднерестовой стадии в 1,9 раза ниже, чем в гонадах самцов, готовых к вымету; для самок эти различия также были существенны — в 2,1 раза [Karavanceva, Shcherban, 2014]. В условиях природного нереста активность синтеза белка увеличивалась в среднем в 2–3 раза по мере созревания гонад и не различалась у обоих полов [Karavanceva, Shcherban, 2014].

Для получения половых продуктов в лабораторных условиях нерест стимулировали резким повышением температуры морской воды на  $7\text{--}9$  °С. Содержание сум. РНК было в 2,1 раза выше у самцов, расчётный параметр скорости синтеза РНК / ДНК в гонадах самцов был выше, чем у самок ( $36,10 \pm 6,58$  и  $5,40 \pm 0,99$  соответственно). В простимулированных гонадах интенсивность синтеза у самцов в 2,1 раза выше, чем у самок, в условиях природного нереста — одинакова. По количественному содержанию ДНК в половых продуктах определяли предполагаемый объём личиночного материала и оплодотворяющую способность самцов. Выметанные половые продукты самцов характеризовались максимально высоким содержанием ДНК (в 8,9 раза выше, чем у самок). Иными словами, предположительно на 1 выметанную яйцеклетку приходится 9 выметанных сперматозоидов. Такие данные для этого вида получены впервые [Karavanceva, Shcherban, 2014].

Отдельным блоком проводились работы на разновозрастных группах мидий *Mytilus galloprovincialis* и черноморской анадаре *Anadara kagoshimensis* в лабораторно заданных условиях (дефицит пищи, гипоксические и аноксические среды, токсические внешние нагрузки, температурная стимуляция нереста в 1999, 2004, 2006, 2007 и 2009 гг. (температурная стимуляция у мидий см. выше)). В частности, на половозрелой группе мидий, собранных с коллекторных установок в б. Казачьей (Севастополь) в мае 1999 г., изучалось влияние краткосрочной гипоксии на ростовые показатели тканевого биосинтеза. В условиях эксперимента (2 серии — 1-суточная и 4-суточная гипоксия, при остаточном содержании кислорода соответственно 1,2 мл/л и 0,38 мл/л) в гепатопанкреасе и жабрах определяли содержание белка, нуклеиновых кислот, рассчитывали ростовой индекс [Щербань, Вялова, 2001]. Все 3 показателя снижались в обеих сериях, причем без статистических различий: содержание белка падало на 42–50 %, содержание сум. РНК — в среднем на 30 %, индекс РНК / ДНК — в 1,4 и 2,2 раза, что свидетельствовало о тенденции усиления процессов катаболизма в тканях.

В условиях действия ряда токсических веществ, в частности широко распространённого катионного детергента — тетрадецилтриметиламмоний бромида (ТДТМА) — загрязнителя водной среды, процессы соматического роста и регенерации в разных тканях мидий имели свою специфичность. По данным А. А. Солдатова и С. А. Щербань [Солдатов и др., 2005; Щербань, Влияние ... , 2010], введение в среду ТДТМА в концентрации, превышающей нормальные значения в 5 раз, вызывало снижение содержания РНК в исследуемых соматических тканях мидий (жабрах и ноге) в 1,4–1,5 раза. При этом пул свободных нуклеотидов (СН) не претерпевал существенных изменений. Одновременно отмечали понижение значений

индекса РНК / ДНК в среднем в 1,4–1,7 раза, что также отражало угнетение процессов синтеза в данных органах. Уровень белкового синтеза в гепатопанкреасе практически не менялся [Щербань, Влияние ... , 2010]. Таким образом, основной эффект катионного детергента оказан на периферические ткани, которыми являются жабры и нога.

Одним из привычных для Чёрного моря объектов является устрица *Crassostrea gigas*. В последние 30–40 лет тихоокеанская устрица встречается повсеместно у берегов Крыма в виде небольших скоплений. Отнесена к постоянным аллохтонным видам фауны Чёрного моря [Вялова, 2010; Орленко, 1994; Орленко, 2012]. На Южном берегу Крыма её стали выращивать на морской ферме в пос. Качивели с 2005 г. В период 2008–2009 гг. изучалась популяция устриц диплоидных и триплоидных линий с коллекторов этой фермы. Оценивалась скорость роста её молоди (спат двух месяцев при длине 6,5 мм, французские линии) [Вялова, Бородина, Щербань, 2008].

С целью выявления наиболее быстрорастущих линий устриц разной ploидности следили за рядом параметров (сум. РНК, содержание белка и индекс РНК / ДНК), а также динамикой сухого вещества у обеих линий спата в процессе роста в садках (5, 9, и 11 месяцев со дня посадки). По нашим данным, диплоидные линии имели несколько больший объём мягких тканей (в среднем в 1,2–1,3 раза) при относительно равной массе створок и её длине, чем триплоидные. Содержание сум. РНК у триплоидов, однако, значительно выше, чем у диплоидов, уже через 5 месяцев после посадки (РНК = 2,08 мкг/мг ткани у диплоидов и 4,09 мкг/мг у триплоидов, индекс — 12,2 и 16,9 у. е. соответственно). Через 9 месяцев наблюдалось снижение содержания, а следовательно, и темпов роста молоди обеих линий, и к достижению годовалого возраста при средних длинах раковин диплоидов 74–78 мм и триплоидов 80–85 мм значения ростовых параметров вновь увеличивались (сум. РНК = 2,86 мкг/мг ткани у диплоидов и 7,06 мкг/мг у триплоидов). Результаты показали, что в первые 5 месяцев интенсивность ростовых процессов у триплоидных форм достоверно выше и сохранялась такой вплоть до достижения годовалого возраста. Однако сам процесс соматического роста характеризовался скачкообразностью. В последние 5–7 лет нативные исследования по линейным и весовым ростовым параметрам устриц активно продолжаются, но уже с другими видами спата, завезённого, в частности, из Приморья [Вялова, 2018; Вялова, 2019].

*Anadara kagoshimensis* (анадара) и *Flexopecten glaber ponticus* (гребешок) — два значимых представителя двустворчатых моллюсков в экосистеме бентоса Чёрного моря [Золотарёв, Золотарёв, 1987; Ревков и др., 2004; Ревков, 2016; Ревков, Щербань, 2017; Gomoiu, 1984]. Известные на сегодня данные позволяют рассматривать оба вида как состоявшиеся элементы черноморской экосистемы. В последние несколько лет гребешок стал чаще встречаться на коллекторных установках мидийных ферм. Анадара и черноморский гребешок растут медленнее других массовых видов двустворчатых моллюсков Чёрного моря, таких как мидии, митилястеры и особенно устрицы [Ревков и др., 2002; Ревков и др., 2004; Стадниченко, Золотарев, 2009; Вялова, 2011; Пиркова, 2012; Shcherban, 2012; Shcherban, 2013]. Линейный прирост анадары за один год в среднем составляет до 10 мм [Чихачев, Фроленко, Реков, 1994], по другим данным, — до 15 мм в первый год жизни [Пиркова, 2012]. Для молоди гребешка аналогичные данные отсутствуют.

Исследования особенностей тканевого соматического роста черноморской анадары начались в 2005 г. С 2005 по 2018 г., с интервалами в несколько лет, исследовались особенности роста некоторых популяционных групп моллюска в природной среде обитания, а также специфика тканевого синтеза белка в условиях эксперимента, при дефиците пищи и аноксии [Щербань, Тканевые ... , 2010; Shcherban, 2012; Щербань, 2014]. При этом необходимо уточнить, что проблематика роста этого вида в Чёрном море рассматривалась в нескольких работах, в которых изучались морфометрические показатели, линейные и весовые приросты, описаны параметры скорости линейного роста и особенности аллометрии створок [Чихачев, Фроленко, Реков, 1994; Пиркова, 2012; Финогенова, Куракин, Ковтун, 2012; Жаворонкова, Золотницкий, 2014]. Проведены подобные

исследования в морских акваториях вблизи Керчи, кавказского побережья, Адлера и Севастополя [Пиркова, 2012; Жаворонкова, Золотницкий, 2014]. В частности, авторами установлена положительная аллометрия роста высоты и выпуклости раковины относительно её длины для подращиваемых в садках неполовозрелых групп анадара (возрастного диапазона 0,5–3 года), описана связь длины раковины с высотой и шириной [Пиркова, 2012].

Основное внимание уделялось специфике роста соматических тканей анадара (природные среды обитания). В разные годы исследовались одни и те же 3 размерно-возрастные группы (длина раковины 14–17, 18–23 и 23–28 мм). Моллюсков брали из акватории устрично-мидийных ферм в Голубом заливе (ЮБК) и бухте Карантинной. В качестве исследуемых тканей использовали жабры, ногу, гепатопанкреас и реже мантию. Результаты показали, что наиболее высокая активность тканевого роста у моллюсков природных популяций свойственна жабрам всех размерно-возрастных групп и мантии мелкоразмерных особей (14–17 и 18–23 мм), причём его уровень у всех групп приблизительно одинаков: содержание сум. РНК в жабрах составляло 12,37–16,06 мкг/мг сухой ткани, в мантии — 14,46–16,32 мкг/мг, величина ростовых индексов РНК / ДНК — 6,9 и 8,1 у. е. соответственно. Исключения имелись в показателях структур ноги. У всех групп отмечен стабильно низкий уровень биосинтеза в этой ткани, со значениями индекса в диапазоне 4,3–4,9 у. е. Такая интенсивность синтеза ниже, чем в жабрах, в 2,2–3,0 раза и в среднем в 2,2 раза ниже, чем в гепатопанкреасе [Щербань, Тканевые ... , 2010; Shcherban, 2012]. Величины индекса РНК / ДНК также свидетельствовали о высокой интенсивности биохимических процессов в жабрах и мантии. Эта способность была лучше всего выражена у более мелких моллюсков. Таким образом, в естественных условиях обитания процессы белкового синтеза у анадара имели выраженную тканевую специфику.

К экспериментальной категории работ относились исследования белкового анаболизма в тканевых структурах анадара в условиях дефицита пищи и аноксии. Работа выполнялась на взрослых особях (длина раковины 22–27 мм) осенью 2006 г. Животных подвергли голоданию в течение пятнадцати суток [заданные условия в опыте см. Shcherban, 2012]. Известно, что дефицит пищи обычно приводит к снижению пластических ресурсов (таких как аминокислоты и белки) тканей животных. Подавляются анаболические процессы в ткани, о чём косвенно может свидетельствовать снижение значений содержания белка, индекса РНК / ДНК и других показателей. В наших опытах содержание РНК в жабрах и мантии фактически не менялось в условиях дефицита пищи [Щербань, Тканевые ... , 2010]. При этом жабры реагировали на аноксические условия наиболее активно снижением всех показателей: содержанием свободных нуклеотидов, суммарных РНК и РНК / ДНК в среднем в 1,7–3,4 раза, содержание белка снижалось в 1,3 раза. В то же время в структурах ноги отмечалось снижение значений в 1,3 раза. В гепатопанкреасе уровень сум. РНК в аноксической среде даже несколько возрастал по сравнению с контролем: увеличивался аминокислотный пул и содержание белка (в 1,2 раза), значительно увеличивалось содержание свободных нуклеотидов и РНК (в среднем в 1,5 раза) [Щербань, Тканевые ... , 2010; Щербань, 2014; Shcherban, 2012].

Как отмечалось выше, физиолого-биохимические аспекты роста другого вида — черноморского гребешка изучены достаточно слабо. Для наших целей моллюсков отбирали в осенний период 2018 г. из акватории мидийно-устричной фермы «Марикультура» в бухте Карантинной (р-н Севастополя). Особи гребешка взяты из садков с гигантскими устрицами. Спат и молодь этого вида образуют ценоз с ещё двумя видами двустворок, такими как мидия и анадара. В исследованиях использованы особи трёх размерных групп, с линейными размерами 13–17, 21–24 и 25–30 мм. Первые две группы отнесены к сеголеткам, третья — к однолеткам и старше. Проводился анализ линейных характеристик, величин общей сырой массы моллюсков и относительной доли мягких тканей, рассчитывалась корреляционная зависимость массы тканей от общей массы. Относительные значения содержания мягких тканей в первой группе составляли от 5,9 до 13,2 % (среднее 9,5 %),

во второй размерной группе — от 11,9 до 19,3 % (среднее 15,6 %), в третьей — от 16,7 до 23,0 % (среднее 18,5 %). Для всех исследуемых групп моллюска получены прямые корреляционные зависимости между общей массой моллюска и массой мягких тканей с высокими коэффициентами корреляции ( $r = 0,97$ ;  $r = 0,82$  и  $r = 0,8$  соответственно), что свидетельствовало о положительной аллометрии тканевого роста.

Уровень тканевого роста, по результатам наших исследований, у сеголеток (группы 13–17 и 21–24 мм) оказался в 1,2–1,5 раза выше, чем у более крупных особей (однолетки и старше). Так, значения сум. РНК составляли у первых двух групп соответственно  $0,95 \pm 0,18$  мкг/мг ткани и  $1,17 \pm 0,19$  мкг/мг ткани, у третьей группы —  $0,78 \pm 0,06$  мкг/мг ткани. Величины индекса РНК / ДНК имели близкие значения и находились в узком диапазоне от 5,1 до 6,4 у. е.:  $5,10 \pm 1,57$ ;  $5,70 \pm 1,17$  и  $6,40 \pm 0,66$  у. е. у трёх групп соответственно [Shcherban, Melnik, 2020].

Поскольку *F. glaber ponticus* относится к полиморфным видам, возможны варианты существования сопряжённости множественных физиологических функций, включая рост, у групп внутри популяции с разным окрасом раковин. Встречаемость и распределение таких групп у этого вида пока не изучены. По результатам наших исследований в популяции данного вида было выделено 7 цветовых морф: бежевая, жёлто-бежевая, коричневая, серо-коричневая, оранжевая, фиолетовая и «мульти». В целом большинство из них в популяции (анализировались 3 размерные группы, в диапазоне длин раковины от 13 до 30 мм) распределялось достаточно равномерно и составляло в среднем от 14 до 20–22 % [Shcherban, Melnik, 2020]. Очень редки особи с фиолетовым и мультиокрасом раковин (всего 8 %). Так, с высоким уровнем процессов тканевого роста было выделено 3 фенотипа: бежевый, серо-коричневый и фиолетовый. По величинам индекса РНК / ДНК у разных морф следовало, что диапазон значений 6,3–7,3 у. е. (бежевый, 1-я и 2-я группы) и 7,5–7,7 у. е. (фиолетовый, 1-я и 2-я группы) позволяет отнести оба фенотипа к фенотипам с высоким уровнем тканевого роста. Близок по значениям этих показателей и коричневый фенотип. Моллюски разных размеров коричневой и серо-коричневой морф отнесены к этой категории (статистически незначимые различия). К моллюскам со средне-низким уровнем соматического роста (значения индекса от 4,7 до 5,8 у. е.) относили особей оранжевой морфы. Отмечено, что значения сум. РНК ( $0,86 \pm 0,21$  мкг/мг для жёлто-бежевого в 1,5 раза и  $0,48 \pm 0,02$  мкг/мг для «мульти») в среднем в 2–2,5 раза ниже, чем у представителей других морф, что свидетельствует о низком уровне соматического роста особей данного фенотипа. Необходимы дальнейшие исследования в данном направлении с учётом более значительных выборок.

Сравнительная оценка линейно-весовой аллометрии, тканевого роста и морфофизиологических параметров проведена на материалах исследований молодежи анадары и гребешка в осенний период 2018 г. [Щербань, Мельник, 2020]. Отбиралась молодежь с одинаковыми линейными размерами 25–32 мм. Для анадары это возраст от двух до трёх лет, для гребешка — от полутора до двух с половиной лет. Известно, что продолжительность жизни и средние размеры обоих видов приблизительно одинаковы. Возраст составляет приблизительно 6–7 лет. Длина раковины анадары не превышает 60 мм [Золотарёв, Терентьев, 2012], средний размер её в Чёрном море — 11–30 мм [Стадниченко, Золотарев, 2009]. Максимальный линейный размер гребешка 50–55 мм [Крактица, 1972; Ревков, 2018].

По нашим данным, для моллюсков с одинаковой длиной раковины показатель общей массы существенно отличался: от 2,8 до 4,6 г у гребешка и от 6,9 до 18,4 г у анадары. Однако показатели процентного содержания мягких тканей близки у молодежи обоих видов: для гребешка это величина от 16,7 до 23,0 % (в среднем 18,5 %), для анадары — от 17,5 до 20,8 % (в среднем 19,0 %). Такие значения сравнимы с показателями по черноморскому гребешку более крупного размера — 25–40 мм (18–21 %) и близки к показателю приморского гребешка промысловых размеров (20–21 %) [Крактица, 1972]. На основе приведенных данных рассчитаны корреляционные зависимости весовых и линейных параметров. Для обоих видов моллюсков получены прямые корреляции с высокими коэффициентами ( $r = 0,74$  и  $r = 0,85$ ), что свидетельствует

о положительной изометрии роста. Сравнительная оценка морфофизиологических параметров (относительные величины массы раковины (МР), мягких тканей (МТ) и межстворочной жидкости (МЖ) от общей массы моллюска) у молоди обоих видов показала, что они практически не имеют различий и их значения находятся в пределах статистической ошибки [Щербань, Мельник, 2020; Shcherban, Melnik, 2020].

Несмотря на наличие близких линейно-размерных и некоторых физиологических характеристик у обоих видов, биохимические параметры тканевого роста различались. Так, результаты свидетельствовали о том, что уровень синтеза белковых структур тканей у анадары в 2,2 раза выше, чем у гребешка. У особой анадары показатель содержания суммарных РНК составлял  $1,65 \pm 0,42$  мкг/мг ткани, что в 2,2 раза выше, чем у одноразмерных особей гребешка ( $0,78 \pm 0,06$  мкг/мг). Величины индекса РНК / ДНК также различались в 2,1 раза: соответственно  $13,69 \pm 2,98$  у. е. (анадара) и  $6,40 \pm 0,66$  у. е. (гребешок). Ранее полученные данные по индексу роста у однолеток анадары (длина раковины от 14 до 18 мм) показали, что значения индекса РНК / ДНК имели величину с максимальным значением 9,6 у. е. По результатам этих исследований уровень тканевого соматического роста у молоди анадары можно оценить как высокий, у молоди гребешка — как низкий [Shcherban, Melnik, 2020].

### Основные заключения

1. По результатам многолетних исследований на разных онтогенетических группах мидий, анадары, устриц и гребешка было установлено, что скорость линейного, весового и тканевого соматического роста значительно отличается. К видам с высокими показателями роста отнесены мидии и устрицы, с самыми низкими — черноморский гребешок.

2. Исследования на молоди устриц *C. gigas* и анадары *A. kagoshimensis* из их естественных биоценозов свидетельствовали о более высоком уровне соматического роста у этих видов по сравнению с молодью гребешка *F. glaber ponticus*.

3. Данные большого количества исследований особенностей репродуктивного синтеза у самцов и самок мидий в условиях природного нереста показали, что активность синтеза белка в гонадах разных стадий зрелости увеличивалась в среднем в 2–3 раза по мере созревания гонад и не различалась у обоих полов. В простимулированных гонадах интенсивность синтеза у самцов в 2,1 раза выше, чем у самок.

4. В естественных условиях обитания процессы белкового синтеза в соматических тканях анадары и мидий имели свою специфику. Наиболее высокая активность тканевого белкового синтеза у анадары свойственна жабрам всех изучаемых размерно-возрастных групп и мантии мелкоразмерных особей (сеголетки и однолетки). У всех групп отмечен стабильно низкий уровень биосинтеза в ткани ноги: интенсивность синтеза ниже, чем в жабрах, в 2,2–3,0 раза и в среднем в 2,2 раза ниже, чем в гепатопанкреасе. Высокие значения биохимических ростовых параметров у мидий получены также для мантии и жабр.

5. Обозначена тканевая специфика белкового синтеза у изучаемых видов в условиях роста в лаборатории, при создании кислородных стрессовых факторов и токсических нагрузок (на примере анадары и мидий). Выявлены повышенная чувствительность периферической ткани (жабр) ко всем факторам и усиление процессов регенерации в данном органе.

6. При исследовании фенотипических особенностей тканевого роста у мидий и черноморского гребешка как полиморфных видов определены цветовые морфы с высоким темпом тканевого роста. Для мидий это фенотип депигментированной морфы (альбиносы) с высоким уровнем репродуктивного синтеза и фенотип чёрной морфы с высоким уровнем соматического роста, для черноморского гребешка — 3 цветовые морфы из семи изученных (бежевая, серо-коричневая и фиолетовая).



### Список литературы

1. Аболмасова Г. И., Щербань С. А. Рост мидии *Mytilus galloprovincialis* на протяжении годового цикла в бухтах Ласпи и Казачья // Экология моря : респ. межвед. сб. науч. тр. / АН УССР, Ин-т биологии юж. морей им. А. О. Ковалевского. – Киев : Наук. думка, 1991. – Вып. 38. – С. 88–92.
2. Вялова О. Ю. Использование некоторых технических приемов для оптимизации процесса выращивания тихоокеанской устрицы в Чёрном море // Рыбное хозяйство Украины. – 2010. – № 5. – С. 5–9.
3. Вялова О. Ю. Некоторые результаты выращивания устрицы *Crassostrea gigas*, завезённой из Приморья в Чёрное море (озеро Донузлав, Крым) // Актуальные проблемы освоения биологических ресурсов Мирового океана : материалы V междунар. науч.-техн. конф. (Владивосток, 22–24 мая 2018 г.) / Дальневост. гос. техн. рыбохоз. ун-т. – Владивосток : Дальрыбвтуз, 2018. – Ч. 1. – С. 52–55.
4. Вялова О. Ю. Рост и сроки получения товарной триплоидной устрицы в лимане Донузлав (Чёрное море, Крым) // Морской биологический журнал. – 2019. – Т. 4, № 1. – С. 24–32. – <https://doi.org/10.21072/mbj.2019.04.1.03>
5. Вялова О. Ю. Ростовые, морфометрические и биохимические характеристики анадары *Anadara inaequalis* в Чёрном море (акватория Голубого залива, ЮБК) // Промысловые биоресурсы Чёрного и Азовского морей / НАН Украины, Ин-т биологии юж. морей им. А. О. Ковалевского ; ред.: В. Н. Еремеев [и др.]. – Севастополь : ЭКОСИ-Гидрофизика, 2011. – Гл. 5, п. 5.4. – С. 189–192.
6. Вялова О. Ю., Бородина А. А., Щербань С. А. Первые результаты вселения и выращивания тихоокеанской устрицы *Crassostrea gigas* различной плоидности в Чёрном море // Морские прибрежные экосистемы. Водоросли, беспозвоночные и продукты их переработки : тез. докл. 3-й междунар. науч.-практ. конф. (Владивосток, 8–10 сент. 2008 г.) / Тихоокеан. науч.-исслед. рыбохоз. центр, Всерос. науч.-исслед. ин-т рыб. хоз-ва и океанографии. – Владивосток : ТНИРХЦ, 2008. – С. 231–232.
7. Дивавин И. А. Нуклеиновый обмен черноморских гидробионтов в различных бухтах юго-западного побережья Крыма // Экология моря : респ. межвед. сб. науч. тр. / АН УССР, Ин-т биологии юж. морей им. А. О. Ковалевского. – Киев : Наук. думка, 1980. – Вып. 2. – С. 48–51.
8. Жаворонкова А. М., Золотницкий А. П. Характеристика аллометрического роста двустворчатого моллюска анадары (*Anadara inaequalis*) Керченского пролива // Экосистемы, их оптимизация и охрана. – 2014. – Вып. 10. – С. 128–133.
9. Золотарёв В. Н., Золотарёв П. Н. Двустворчатый моллюск *Cunearca cornea* — новый элемент фауны Чёрного моря // Доклады АН СССР. – 1987. – Т. 297, № 2. – С. 501–503.
10. Золотарёв П. Н., Терентьев А. С. Изменения в сообществах макробентоса Гудаутской устричной банки // Океанология. – 2012. – Т. 52, № 2. – С. 251–257.
11. Кракатица Т. Ф. Распределение и запасы гребешка *Pecten ponticus* В. D. et D (Mollusca, Bivalvia) в Чёрном море // Зоологический журнал. – 1972. – Т. 51, вып. 1. – С. 136–138.
12. Лисицкая Е. В. Таксономический состав и сезонная динамика меропланктона в районе мидийно-устричной фермы (Севастополь, Чёрное море) // Морской биологический журнал. – 2017. – Т. 2, № 4. – С. 38–49. – <https://doi.org/10.21072/mbj.2017.02.4.04>
13. Орленко А. Н. Гигантская устрица (*Crassostrea gigas* Thunberg) как аллохтонный вид фауны Чёрного моря // Труды Южного научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии. – 2012. – Т. 50. – С. 129–133.

14. Орленко А. Н. Гигантская устрица *Crassostrea gigas* (Bivalvia, Mytiliformes, Crassostreidae) как объект акклиматизации и основные этапы её трансплантации в Чёрном море // Зоологический журнал. – 1994. – Т. 73, вып. 1. – С. 51–54.
15. Пиркова А. В. Рост двустворчатого моллюска *Anadara inaequalis* (Bivalvia) в Чёрном море при садковом выращивании // VII Международная конференция «Современные рыбохозяйственные и экологические проблемы Азово-Черноморского региона», Керчь, 20–23 июня 2012 г. / Юж. науч.-исслед. ин-т мор. рыб. хоз-ва и океанографии [и др.]. – Керчь : ЮгНИРО, 2012. – Т. 2. – С. 73–78.
16. Ревков Н. К. Гребешок черноморский *Flexorosten glaber* (Linnaeus, 1788) // Красная книга города Севастополя / Гл. упр. природ. ресурсов и экологии г. Севастополя ; ред. кол.: Самойлов С. Ю. [и др.]. – Калининград ; Севастополь : РОСТ – ДООФК, 2018. – С. 347–348.
17. Ревков Н. К. Особенности колонизации Чёрного моря недавним вселенцем — двустворчатым моллюском *Anadara kagoshimensis* (Bivalvia: Arcidae) // Морской биологический журнал. – 2016. – Т. 1, № 2. – С. 3–17. – <https://doi.org/10.21072/mbj.2016.01.2.01>
18. Ревков Н. К., Болтачева Н. А., Николаенко Т. В., Колесникова Е. А. Биоразнообразие зообентоса рыхлых грунтов Крымского побережья Чёрного моря // Океанология. – 2002. – Т. 42, № 4. – С. 561–571.
19. Ревков Н. К., Костенко Н. С., Киселева Г. А., Анистратенко В. В. Тип Моллюски Mollusca Cuvier, 1797 // Карадаг. Гидробиологические исследования : сб. науч. тр., посвящ. 90-летию Карадаг. ... НАН Украины / НАН Украины, Карадаг. природ. заповедник. – Симферополь : СОНАТ, 2004. – Кн. 2. – С. 399–435.
20. Ревков Н. К., Щербань С. А. Особенности биологии двустворчатого моллюска *Anadara kagoshimensis* в Чёрном море // Экосистемы. – 2017. – Вып. 9. – С. 47–57.
21. Самышев Э. З., Золотарев П. Н. Механизмы антропогенного воздействия на бенталь и структуру донных биоценозов северо-западной части Чёрного моря. – Севастополь : Колорит, 2018. – 208 с.
22. Солдатов А. А., Бочко О. Ю., Головина И. В., Щербань С. А., Вялова О. Ю. Биохимические эффекты полихлорированных бифенилов на организм черноморского моллюска *Mytilus galloprovincialis* // Морской экологический журнал. – 2005. – № 1 (отд. вып.). – С. 105–112.
23. Спириин А. С. Спектрофотометрическое определение суммарного количества нуклеиновых кислот // Биохимия. – 1958. – Т. 23, № 5. – С. 656–662.
24. Стадниченко С. В., Золотарев В. Н. Популяционная структура морских двустворчатых моллюсков в районе дельты Дуная в 2007–2008 гг. // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа : сб. науч. тр. / НАН Украины, Мор. гидрофиз. ин-т. – Севастополь : МГИ, 2009. – Вып. 20. – С. 248–261.
25. Сысоев В. В. Парная линейная регрессия. – Воронеж : Воронеж. гос. технол. акад., 2003. – 66 с.
26. Финенко Г. А., Романова З. А., Аболмасова Г. И. Экологическая энергетика черноморской мидии // Биоэнергетика гидробионтов / АН УССР, Ин-т биологии юж. морей им. А. О. Ковалевского. – Киев : Наук. думка, 1990. – Гл. 2, п. 22. – С. 32–72.
27. Финогенова Н. Л., Куракин А. П., Ковтун О. А. Морфологическая дифференциация *Anadara inaequalis* (Bivalvia, Arcidae) в Чёрном море // Гидробиологический журнал. – 2012. – Т. 48, № 5. – С. 3–10.
28. Чихачев А. С., Фроленко Л. Н., Реков Ю. И. Новый вселенец в Азовское море // Рыбное хозяйство. – 1994. – № 3. – С. 40.

29. Щербань С. А. Влияние тетрадецилтриметиламмоний бромид (ТДТМА) на белковый биосинтез тканей двустворчатого моллюска *Mytilus galloprovincialis* Lam. // Экология водных беспозвоночных : материалы междунар. конф., посвящ. 100-летию со дня рождения Ф. Д. Мордухай-Болтовского, Борок, 30 окт. — 02 нояб. 2010 г. / Ин-т биологии внутр. вод им. И. Д. Папанина РАН [и др.]. – Борок : ИБВВ, 2010. – С. 361–363.
30. Щербань С. А. Особенности соматического и генеративного роста у некоторых цветковых морф мидий *Mytilus galloprovincialis* Lam. // Экология моря : сб. науч. тр. / НАН Украины, Ин-т биологии юж морей им. А. О. Ковалевского. – Севастополь : ЭКОСИ-Гидрофизика, 2000. – Вып. 53. – С. 77–81.
31. Щербань С. А. Процессы роста и регенерации тканей у массовых видов двустворчатых моллюсков Чёрного моря // Черноморские моллюски: элементы сравнительной и экологической биохимии / НАН Украины, Ин-т биологии юж. морей им. А. О. Ковалевского. – Севастополь : ЭКОСИ-Гидрофизика, 2014. – Гл. 7. – С. 248–270.
32. Щербань С. А. Соотношение между индексом РНК / ДНК, содержанием белка и сухой массой у мидий в условиях кратковременного эксперимента // Гидробиологический журнал. – 1992. – Т. 28, № 3. – С. 60–64.
33. Щербань С. А. Тканевые особенности белкового синтеза у двустворчатого моллюска *Anadara inaequivalvis* (Bruguiere) в условиях нормы и при дефиците пищи // Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету ім. В. Гнатюка. Серія: Біологія. – 2010. – № 3. – С. 323–327.
34. Щербань С. А. Эколого-физиологические особенности и биохимические индикаторы роста черноморской мидии *Mytilus galloprovincialis* : автореф. дис. ... канд. биол. наук : 03.00.18. – Санкт-Петербург, 1995. – 27 с.
35. Щербань С. А., Аболмасова Г. И. Рост мидии *Mytilus galloprovincialis* Lam. в бухте Ласпи Чёрного моря // Биология моря. – 1991. – № 2. – С. 82–89.
36. Щербань С. А., Вялова О. Ю. Влияние краткосрочной гипоксии на некоторые ростовые показатели черноморской мидии в условиях дефицита пищи // Экология моря : сб. науч. тр. / НАН Украины, Ин-т биологии юж. морей им. А. О. Ковалевского. – Севастополь : ЭКОСИ-Гидрофизика, 2001. – Вып. 58. – С. 57–59.
37. Щербань С. А., Вялова О. Ю. Половые и фенотипические особенности содержания РНК в гонадах черноморских мидий // Доповіді НАН України. – 2008. – № 2. – С. 166–170.
38. Щербань С. А., Мельник А. В. Размерно-весовые и биохимические характеристики соматического роста молоди черноморских видов двустворчатых моллюсков *Anadara kagoshimensis* и *Flexorpecten glaber ponticus* // Экосистемы. – 2020. – Вып. 22. – С. 97–104.
39. Gomoiu M. T. *Scapharca inaequivalvis* (Bruguiere) a new species in the Black Sea // Cercetări Marine — Recherches Marines. – 1984. – № 17. – P. 131–141.
40. Karavanceva N. B., Shcherban S. A. Content of nucleic acids in gonads, sperms and eggs of the mussel *Mytilus galloprovincialis* at natural spawning and under thermal stimulation // Hydrobiological Journal. – 2014. – Vol. 50, iss. 6. – P. 47–51. – <https://doi.org/10.1615/HydrobJ.v50.i6.50>
41. Lowry O. H., Rosenbrough A. L., Forr A. L., Randall R. J. Protein measurement with Folin phenol reagent // Journal of Biological Chemistry. – 1951. – Vol. 193, iss. 1. – P. 265–275.
42. Shcherban S. A. Biochemical indicators of processes of the protein synthesis and retention in hydrobionts (a review) // Hydrobiological Journal. – 2013. – Vol. 49, iss. 4. – P. 93–99. – <https://doi.org/10.1615/HydrobJ.v49.i4.80>

43. Shcherban S. A. Relationship between the RNA / DNA ratio, relative protein content and dry weight of mussels in a short-term experiment // Hydrobiological Journal. – 1992.– Vol. 28, iss. 6. – P. 69–74.
44. Shcherban S. A. Tissue peculiarities of the protein anabolism in bivalve mollusk *Anadara inaequalis* in norm, under food deficit and anoxia // Hydrobiological Journal. – 2012. – Vol. 48, iss. 2. – P. 21–29. – <https://doi.org/10.1615/HydrobJ.v48.i2.40>
45. Shcherban S. A., Melnik A. V. Size and age characteristics and phenotypic peculiarities of somatic growth of the Black Sea mollusk *Flexopecten Glaber Ponticus* (Bivalvia, Pectinidae) // Biology Bulletin. – 2020. – Vol. 47, iss. 8. – P. 920–929. – <https://doi.org/10.1134/S1062359020080129>

**STUDY OF TISSUE GROWTH PROCESSES IN THE BLACK SEA BIVALVE MOLLUSC SPECIES IN COASTAL BIOCEANOSES OF SEVASTOPOL AND SOUTH COAST OF CRIMEA (1987–2018)**

**Shcherban S. A.**

*A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, Russian Federation,  
e-mail: [Shcherbansa@yandex.ru](mailto:Shcherbansa@yandex.ru)*

The review from personal observation and literary data on the morpho-physiological and biochemical parameters of tissue growth processes of Black sea bivalvia mussels *Mytilus galloprovincialis* (Lam.), *Crassostrea gigas* (Thunberg, 1783), *Anadara kagoshimensis* (Tokunaga, 1906) and *Flexopecten glaber ponticus* (Bucquoy, Dautzenberg & Dollfus 1889), inhabiting from coastal biocenosis near Sevastopol and the southern coast of Crimea is presented. Using the main criteria for assessing somatic growth resulted in the following main indicators, such as wet and dry mass, the content of total ribonucleic acids (RNA), DNA, protein content, as well as the growth indices of RNA / DNA and RNA / wet mass.

**Keywords:** *Mytilus galloprovincialis*, *Crassostrea gigas*, *Anadara kagoshimensis*, *Flexopecten glaber ponticus*, total wet mass, total RNA, RNA / DNA index, soft tissues, protein synthesis, growth rates, bivalvia mussels, Black Sea.

Сведения об авторе

Щербань Светлана Александровна	кандидат биологических наук, старший научный сотрудник ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», <a href="mailto:Shcherbansa@yandex.ru">Shcherbansa@yandex.ru</a>
--------------------------------------	---

*Поступила в редакцию 02.04.2021 г.  
Принята к публикации 12.08.2021 г.*

ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ, ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ  
И ПАЛЕОНТОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

УДК 556.047(282.247.41)

ДЕЛЬТА РЕКИ ВОЛГИ: СТАТИСТИЧЕСКИЕ  
ТРЕНДЫ ВОДНОГО РЕЖИМА

Валов М. В., Колотухин А. Ю., Бармин А. Н., Татаринцев С. А., Синцов А. В.

ФГБОУВО «Астраханский государственный университет»,

г. Астрахань, Российская Федерация,

e-mail: [m.v.valov@mail.ru](mailto:m.v.valov@mail.ru)

В работе проанализированы статистические количественные показатели некоторых характеристик водного режима реки Волги и специфические особенности их динамики за несколько временных периодов с общим охватом лет наблюдений с 1881 по 2019 г. В качестве инструментов анализа использовались методы математической статистики. В динамике водного стока выявлены два периода: до 50-х и после 50-х гг. XX в. Первый из них характеризуется большей амплитудой колебаний между периодами больших и малых сбросов воды в створе Волжской гидроэлектростанции, большей вариативностью и разбросом показателей; второй период — меньшим разбросом между уровнями сбросов, но значительно укороченными промежутками между годами с большим и меньшим уровнями водности.

**Ключевые слова:** р. Волга, гидрологический режим, водный сток, дельта р. Волги.

### Введение

Речные долины как территории, наиболее обеспеченные водными, биологическими и плодородными земельными ресурсами, были освоены человеком с древних времён [Антропогенные воздействия ... , 2003; Валов, Бармин, Иолин, 2018; Устья рек ... , 2013]. Для дельты реки Волги, представляющей собой уникальный интразональный ландшафт, расположенный в пределах зональных пустынных пространств, водные ресурсы играют ключевую роль в функционировании природных комплексов, сохранении биоразнообразия, количестве и качестве экосистемных услуг и социально-экономическом развитии населения [Байдин, 1962; Брылев, Овчарова, 2009; Валов и др., 2021].

История активного антропогенного воздействия на водные ресурсы реки Волги, под которым понимается любая человеческая деятельность, приводящая к их изменению и связанным с нею последствиям для природы, хозяйства и условий жизни людей, насчитывает более ста лет [Антропогенные воздействия ... , 2003; Бармин, Валов, 2015; Румянцев и др., 2021; Устья рек ... , 2013]. За этот период в результате многих видов хозяйственной деятельности произошли значительные изменения водного режима реки и трансформация качества водных ресурсов. В частности, антропогенные преобразования речного стока изменили динамику процессов поемности и аллювиальности, что послужило пусковым механизмом нарушения экотонной структуры пойменных и дельтовых ландшафтов, в связи с чем возникает угроза исчезновения уникальных гидроморфных экосистем [Атлас дельты ... , 2015; Байдин, Линберг, Самойлов, 1956; Валов, Бармин, Иолин, 2018; Михайлов и др., 2018; Valov et al., 2019].

На сегодняшний день данные вопросы, в совокупности с наблюдаемыми изменениями климатических характеристик, имеют важнейшее значение для устойчивого социо-эколого-экономического развития территорий [Болгов, 2015; Валов и др., 2021; Об утверждении Водной ... , 2009; Доклад об особенностях ... , 2020; Climate change ... , 2013].

Целью настоящей работы является определение статистически выраженных трендов динамики водного режима реки Волги и специфические особенности его разновременных показателей в период с 1881 по 2019 г.

### Материалы и методы

Для исследования разновременной динамики показателей гидрологического режима использовались методы математической статистики и анализа выборок, такие как определение корреляции и дисперсионный анализ. Корреляция использовалась в качестве показателя взаимного изменения динамики сбросов воды, поскольку её определение и анализ позволяют делать выводы о динамике взаимосвязи выборок. Дисперсионный анализ использовался для определения уровня разбросов показателей водного стока в створе Волжской гидроэлектростанции (ГЭС) в различные годы и их вариаций.

Для определения общих характеристик динамики использовался метод построения и анализа диаграмм. Графики использовались для визуализации динамики и наглядного определения её параметров. Для более точного определения направленности изменений использовалась точечная диаграмма, в которой по оси абсцисс брались значения уровня сбросов, а по оси ординат откладывались годы, что позволяет точнее определять группировку значений с повышенными и пониженными показателями за различные периоды времени.

### Результаты и обсуждение

Дельта р. Волги является одной из самых разветвлённых дельт в мире. Количество естественных водотоков волжской дельты в настоящее время составляет порядка 800 и изменяется в зависимости от колебаний уровня Каспийского моря: длительное понижение уровня моря приводит к сосредоточению стока в наиболее крупных рукавах, а многолетнее повышение уровня морских вод способствует рассредоточению водного стока по большему количеству водотоков [Атлас дельты ... , 2015; Байдин, Линберг, Самойлов, 1956; Брылев, Овчарова, 2009].

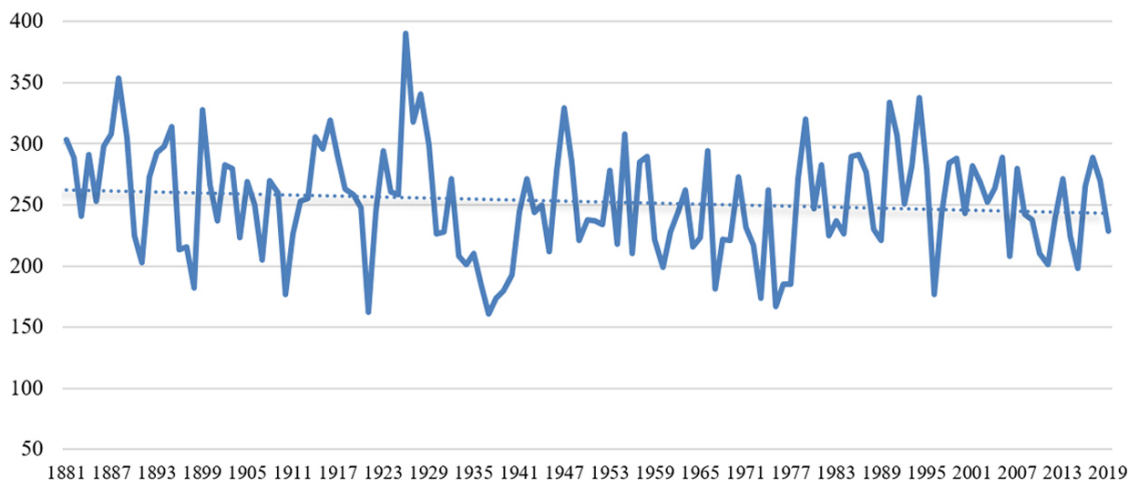
Коэффициент густоты русловой сети р. Волги в верхней части дельты составляет 5–7 км/км<sup>2</sup>, в средней и нижней части дельты данный показатель возрастает [Атлас дельты ... , 2015; Валов, Бармин, Иолин, 2018].

Гидрографическая сеть р. Волги представляет собой сложную систему, в которой можно выделить проточную сеть, представленную основным руслом Волги, крупными магистральными рукавами, протоками, ериками и банками с постоянным направлением течения, и непроточную, которая объединяет более мелкие водотоки, как правило, с непостоянным направлением течения, лагунными, култучными и подстепными ильменями [Валов, Бармин, Иолин, 2018; Основные гидрологические ... , 2015].

Особенностью гидрологии дельты р. Волги являются значительные колебания стока воды, в частности выделение двух крайних фаз — половодной и меженной. В половодье происходит мощный разлив полых вод, превращающих дельту в сплошное водное пространство, а в период межени многие ерики и протоки мелеют или пересыхают и наблюдается значительный недостаток воды, при этом высокая естественная дренированность дельты усиливается искусственными каналами-рыбоходами [Байдин, Линберг, Самойлов, 1956; Устья рек ... , 2013].

Река Волга отличается высокой водоносностью, которая за счёт боковой приточности увеличивается от истока к устью. В створе Волжской ГЭС средний годовой объём водного стока реки составляет 259 км<sup>3</sup>, при впадении в Каспий данная величина сокращается до 253 км<sup>3</sup>. За инструментальный период наблюдений с 1922 г. максимальная величина водного стока составила 390 км<sup>3</sup> (1926 г.), минимальная — 161 км<sup>3</sup> (1937 г.) [Брылев, Овчарова, 2009; Бармин, Валов, 2015].

За исследуемый период среднее значение водного стока составило  $252,8 \text{ км}^3$  со среднеквадратичным отклонением  $44 \text{ км}^3$  и вариативностью  $17,5 \%$ . Вместе с тем на графике (рис. 1) чётко выражены два различных периода, характеризующиеся различной многолетней динамикой водного стока.



**Рис. 1.** Объём водного стока р. Волги в створе Волжской ГЭС за год,  $\text{км}^3$

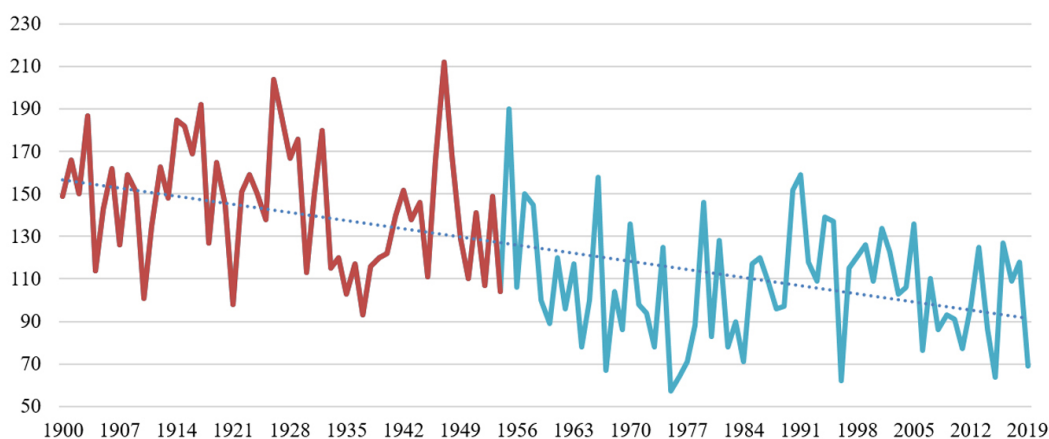
В период с 1881 г. до 50-х гг. XX в. наблюдаются длительные многолетние переходы от повышенных до пониженных объёмов водного стока, в конце каждого периода отмечается пиковый год, после которого динамика объёма стока меняется на обратную, в ходе смены пиков присутствуют аномальные годы. В этот период среднее значение водных объёмов выше, чем общее за период исследования, и равно  $257 \text{ км}^3$  со среднеквадратичным отклонением  $47,4 \text{ км}^3$  и вариативностью  $18,4 \%$ , что также выше показателей за общий временной промежуток исследований.

В период с 50-х гг. XX в. динамика водного стока значительно меняется, наблюдаются резкие перепады между многоводными и маловодными годами, но вместе с тем сами пиковые показатели сглаживаются, разброс уровней сброса в различные по водности годы становится меньше, а периоды между пиковыми показателями — короче, в данный период также отсутствует какой-либо тренд на изменение количества общегодового стока. Среднее значение объёмов воды незначительно меньше, чем общее за период исследования, и равно  $248,3 \text{ км}^3$  со среднеквадратичным отклонением  $40 \text{ км}^3$  и вариативностью  $16 \%$ , что также ниже показателей за общий временной промежуток и значительно ниже, чем в период до 1950-х гг.

Для функционирования и динамики дельтовых экосистем наиболее важной фазой гидрологического режима является половодье, под которым после зарегулирования водного стока р. Волги каскадом ГЭС понимается объём водных сбросов в створе Волжской ГЭС за 2-й квартал [Брылев, Овчарова, 2009; Кузьмина, Трешкин, Шинкаренко, 2018; Устья рек ... , 2013].

В динамике водного стока за 2-й квартал можно определить тренд на уменьшение количества сбросов воды с 1900 по 2019 г. (рис. 2). Средний уровень сброса за данный период равен  $124,2 \text{ км}^3$ , среднеквадратичное отклонение составляет  $34 \text{ км}^3$ , вариативность  $27 \%$ . Помимо этого, в общей динамике также выделяются два различных периода, во многом повторяющие динамические периоды общегодового водного стока.

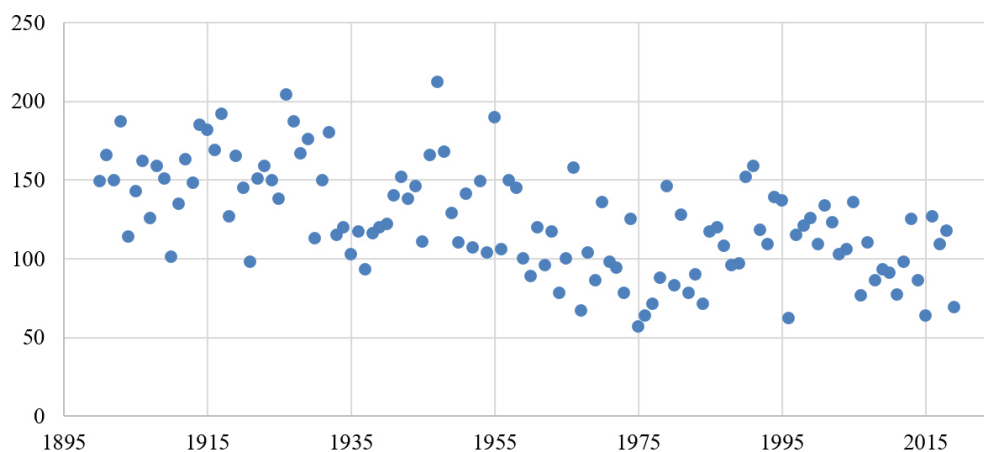
В период до 50-х гг. XX в. наблюдается значительно бóльшая амплитуда колебаний значений в годы с наибольшим и наименьшим сбросом, средний сброс в данный период равен  $145,6 \text{ км}^3$  при стандартном отклонении  $28,4 \text{ км}^3$  и вариативности  $19 \%$ ; период характеризуется увеличенным средним показателем уровня расходов воды и меньшей вариативностью относительно общей динамики.



**Рис. 2.** Объём водного стока р. Волги на створе Волжской ГЭС за 2-й квартал, км<sup>3</sup>

Работа каскада гидроэлектростанций на р. Волге изменила гидрологический режим реки, что привело к срезке пиков половодий и уменьшению их длительности; кроме того, в среднем на 28 км<sup>3</sup> увеличился сток в зимний период [Антропогенные воздействия ... , 2003; Бармин, Валов, 2015; Румянцев и др., 2021]. С 50-х гг. XX в. промежутки между годами с повышенными и пониженными уровнями сбросов сокращаются, но амплитуда колебаний остаётся примерно равной общим показателям для всего периода. Средний уровень сбросов в это время составляет 106 км<sup>3</sup> при стандартном отклонении 27 км<sup>3</sup> и вариативности 25 %.

Для более полной оценки снижения уровней стоков за 2-й квартал построена точечная диаграмма объёмов сбросов (рис. 3).



**Рис. 3.** Распределение сбросов воды в створе Волжской ГЭС во 2-м квартале в период 1900–2019 гг., км<sup>3</sup>

На данной диаграмме чётко выражена динамика снижения сбросов за 2-й квартал, наибольшее количество лет с малым относительным уровнем сбросов расположено в период после 50-х гг. XX в., в данный период полностью отсутствуют годы, аномально высокий уровень сброса в которых достигал бы уровней периода до 1950-х гг.

Важным показателем, характеризующим водный сток, является максимальный уровень подъёма воды в период половодья, исследование которого позволяет определить дополнительные характеристики динамики сбросов и затопления дельтовых территорий [Устья рек ... , 2013; Основные гидрологические ... , 2015].



В период с 1954 по 2019 г. для максимальных уровней подъёма воды отсутствует ярко выраженный тренд, при этом существующий многолетний тренд на увеличение средних уровней подъёма воды имеет недостаточную достоверность для использования его при характеристике максимальных показателей (рис. 4). За наблюдаемый период средний уровень подъёма воды равен 269,3 см, стандартное отклонение 41,5 см при вариативности 16 %. В дельте р. Волги снижение высоты подъёма воды в период половодья привело к уменьшению относительной площади ежегодно затопливаемых территорий с 90 до 40–60 %.

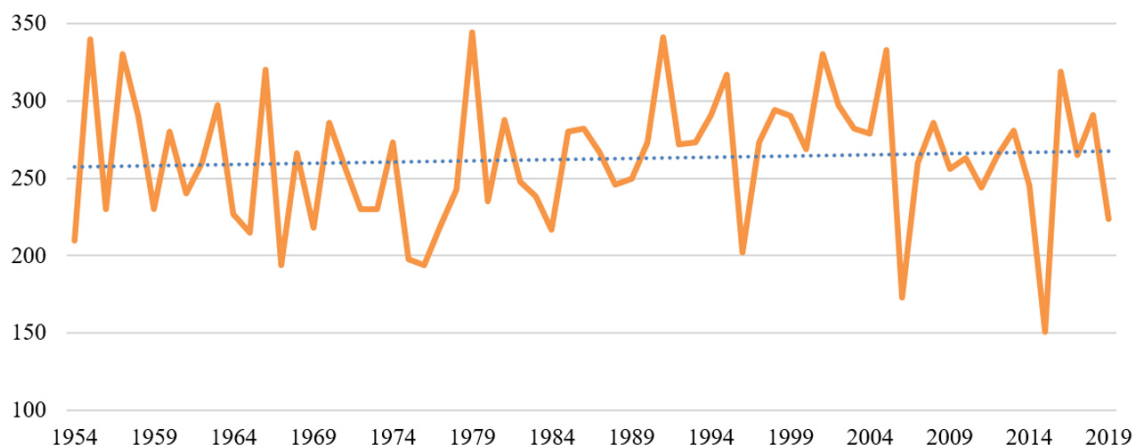


Рис. 4. Максимальные уровни воды в период половодья по гидропосту г. Астрахани, см

Значимым аспектом для определения современной динамики и прогнозирования водного стока является совместное рассмотрение описанных показателей за единый промежуток времени (рис. 5).

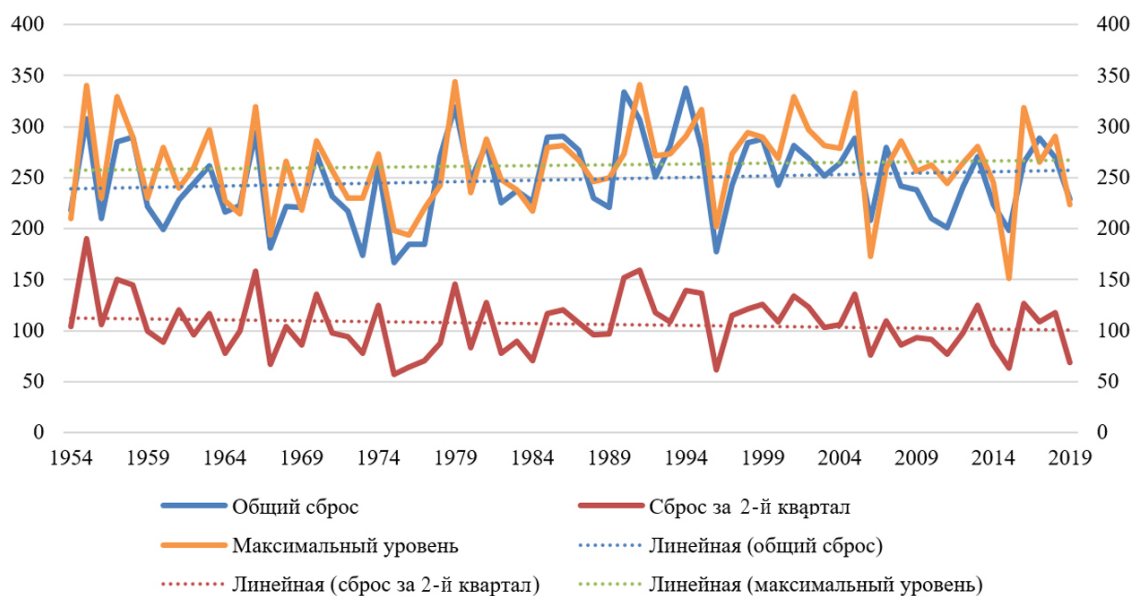


Рис. 5. Динамика объёма водного сброса в створе Волгоградской ГЭС (км<sup>3</sup>) и максимальных уровней воды по гидропосту г. Астрахани (см)

За период с 1954 по 2019 г. в общей динамике показателей наблюдается тренд на снижение уровня сбросов во 2-м квартале при отсутствии ярко выраженных трендов изменения общего сброса и максимальных уровней подъёма воды. Таким образом, создаётся ситуация, когда при многолетнем неизменном уровне годовых сбросов воды с 1954 г. доля воды, сбрасываемой во 2-м квартале года, постепенно уменьшается. Вместе с тем данный тренд остаётся скрытым при исследовании графиков динамики из-за примерно равной угловой скорости изменения показателей. Однако при анализе многолетних периодов можно обнаружить, что в период с 1900 по 2019 г. корреляция показателей общего сброса и сброса во 2-м квартале снижается. Корреляция показателей с 1900 по 1954 г. составляла 87 %, а с 1954 по 2019 г. — 85 %. Вместе с тем корреляция на меньших промежутках времени продолжает оставаться высокой, но также постепенно снижается: с 1954 по 1974 г. она составляла 92 %, с 1974 по 1995 г. снизилась до 90 %, а с 1995 по 2019 г. — до 89 %.

### Выводы

Характеристики водного режима (динамика общего стока реки, изменение режимов попусков в период половодий и в осенне-зимнее время, скорость сбросов, уровни подъёма воды и длительность её стояния и др.) для дельты реки Волги непосредственно определяют функционирование и динамику как природных комплексов (изменение уровня грунтовых вод, почвенное засоление, продуктивность и видовой состав растительности, количество рыбных запасов и общий уровень биоразнообразия и т. д.), так и социально-экономическое состояние территории (экосистемные услуги, водоснабжение населения и предприятий, орошение сельскохозяйственных угодий, судоходство, качество вод и др.), в связи с чем изучение, прогнозирование и регулирование водного режима играют важнейшую роль для устойчивого развития данного региона.

По результатам проведённого анализа можно сделать следующие выводы:

1. Динамика уровня годового объёма водного стока делится на два больших периода: до 50-х и после 50-х гг. XX в. Первый период характеризуется большей амплитудой колебаний между периодами больших и малых сбросов, большей вариативностью и разбросом показателей; второй период — меньшим разбросом между уровнями сбросов, но значительно укороченными промежутками между годами с большим и меньшим уровнями сбросов.

2. Относительно общегодового водного стока существует тренд на изменение его внутригодового распределения: происходит снижение объёма сбросов за 2-й квартал и увеличение в другие периоды года (особенно существенно в зимнее время).

3. Для показателя максимальных уровней подъёма воды в период половодья отсутствует чётко выраженный тренд, но вместе с тем вариативность показателя достаточно значительна и достигает 16 %, при этом разница между уровнями в различные годы в среднем составляет 41,5 см.

4. Существует потенциальный вектор уменьшения продолжительности сбросов в половодье и снижения уровней общегодового стока при увеличении сбросов в кратковременный пиковый период.

5. При продолжении данных тенденций можно спрогнозировать дальнейшее уменьшение подъёма воды и существенные изменения в ходе гидрографа в период половодья, что повлечёт за собой значительные ландшафтные и экосистемные изменения в дельте р. Волги, многие из которых наблюдаются уже на сегодняшний день.

### Список литературы

1. Антропогенные воздействия на водные ресурсы России и сопредельных государств в конце XX столетия / Рос. акад. наук, Ин-т географии ; под ред. Н. И. Коронкевич, И. С. Зайцева. — Москва : Наука, 2003. — 367 с.
2. Атлас дельты реки Волги: геоморфология, русловая и береговая морфодинамика / МГУ им. М. В. Ломоносова, Ин-т океанологии им. П. П. Ширшова РАН ; отв. ред.: В. Н. Коротаев [и др.]. — Москва : АПР, 2015. — 128 с.

3. *Байдин С. С.* Сток и уровни дельты Волги. – Ленинград : Гидрометеоиздат, 1962. – 337 с.
4. *Байдин С. С., Линберг Ф. Н., Самойлов И. В.* Гидрология дельты Волги. – Ленинград : Гидрометеоиздат, 1956. – 332 с.
5. *Бармин А. Н., Валов М. В.* Устьевая область реки Волги: интегральная оценка некоторых природных и антропогенных факторов, влияющих на изменение гидрологического режима // *Естественные науки.* – 2015. – № 2. – С. 7–15.
6. *Болгов М. В.* О выполнении программы приоритетных научных исследований в области водных ресурсов для реализации водной стратегии Российской Федерации до 2020 года // *Научное обеспечение реализации «Водной стратегии Российской Федерации на период до 2020 г.» : всерос. науч. конф., 6–11 июля 2015 г. / редкол.: Г. В. Пряжинская [и др.].* – Петрозаводск : Карел. науч. центр РАН, 2015. – Т. 1. – С. 39–46.
7. *Брылев В. А., Овчарова А. Ю.* Динамика половодий в нижнем бьефе Волгоградской ГЭС и экологические последствия за 2006–2009 гг. // *Современное состояние водных ресурсов Нижней Волги и проблемы их управления : материалы регион. науч.-практ. конф., Астрахань, 18–19 нояб. 2009 г. / Астрахан. гос. ун-т [и др.].* – Астрахань : АГУ, 2009. – С. 35–38.
8. *Валов М. В., Бармин А. Н., Иолин М. М.* Дельта реки Волги: влияние ведущих факторов ландшафтной трансформации на почвенно-растительный покров. – Астрахань : Сорокин Роман Васильевич, 2018. – 140 с.
9. *Валов М. В., Колотухин А. Ю., Бармин А. Н., Зимовец П. А., Занозин В. В.* Оценка режимов природной тепло- и влагообеспеченности дельты реки Волги // *Учёные записки Крымского федерального университета им. В. И. Вернадского. География. Геология.* – 2021. – Т. 7, № 1. – С. 212–225.
10. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2019 год / Федер. служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет). – Москва : [б. и.], 2020. – 97 с.
11. *Кузьмина Ж. В., Трешкин С. Е., Шинкаренко С. С.* Влияние зарегулирования речного стока и изменений климата на динамику наземных экосистем Нижней Волги // *Аридные экосистемы.* – 2018. – Т. 24, № 4. – С. 3–18.
12. *Михайлов В. Н., Кравцова В. И., Инюшин А. Н., Михайлова М. В.* Изменения тенденции развития дельты под влиянием внешних естественных и антропогенных факторов (на примере современного устья Хуанхэ) // *Водные ресурсы.* – 2018. – Т. 45, № 4. – С. 353–365. – <https://doi.org/10.1134/S0321059618040168>
13. Об утверждении Водной стратегии Российской Федерации на период до 2020 г. : Распоряжение Правительства РФ от 27.08.2009 г. № 1235-р. // *КонсультантПлюс : [сайт].* – Москва, 1997–2021. – URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_91329/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_91329/) (дата обращения: 26.08.2021).
14. Основные гидрологические характеристики рек бассейна Нижней Волги : науч.-приклад. справ. / Гос. гидрол. ин-т ; под ред. В. Ю. Георгиевского. – Ливны : Мухаметов Г. В., 2015. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).
15. *Румянцев В. А., Коронкевич Н. И., Измайлова А. В., Георгиади А. Г., Зайцева И. С., Барабанова Е. А., Драбкова В. Г., Корнеевкова Н. Ю.* Водные ресурсы рек и водоёмов России и антропогенные воздействия на них // *Известия Российской академии наук. Серия географическая.* – 2021. – Т. 85, № 1. – С. 120–135. – <https://doi.org/10.31857/S258755662101012X>
16. Устья рек Каспийского региона: история формирования, современные гидролого-морфологические процессы и опасные гидрологические явления / МГУ им. М. В. Ломоносова ; под ред. В. Н. Михайлова. – Москва : ГЕОС, 2013. – 703 с.

17. Climate change 2013 : the physical science basis : Working Group I contribution to the Fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / ed. by T. F. Stocker. – New York : Cambridge University Press, [2014]. – 1535 p. – URL: <http://www.climatechange2013.org>
18. Valov M. V., Barmin A. N., Eroshkina O. S., Probst E. N. The modern state of the ecosystem in the Volga River delta ecotone and dynamics of the changes in water availability conditions // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2019. – Vol. 381. – 012092. – <https://doi.org/10.1088/1755-1315/381/1/012092>

### **VOLGA RIVER DELTA: STATISTICAL TRENDS OF WATER REGIME**

**Valov M. V., Kolotukhin A. Yu., Barmin A. N., Tatarintsev S. A., Sintsov A. V.**

*Astrakhan State University, Astrakhan, Russian Federation,*

*e-mail: [m.v.valov@mail.ru](mailto:m.v.valov@mail.ru)*

The statistical quantitative indicators of some characteristics of the Volga River water regime and the specific features of their dynamics was carried out in this work over several time periods with a total coverage of observation years from 1881 to 2019. Methods of mathematical statistics were used as analysis tools. In the dynamics of water runoff, two periods have been identified: before the 50s and after the 50s of the XX century. The first of them is characterized by a greater amplitude of fluctuations between periods of large and small discharges of water in the section of the Volzhskaya hydroelectric power station, greater variability and spread of indicators; the second period is characterized by a smaller spread between discharge levels, but significantly shorter intervals between years with higher and lower water levels.

**Keywords:** the Volga river, hydrological regime, water flow, the river Volga delta.

#### Сведения об авторах

Валов Михаил Викторович	кандидат географических наук, доцент кафедры экологии, природопользования, землеустройства и БЖД, ФГБОУВО «Астраханский государственный университет», <a href="mailto:m.v.valov@mail.ru">m.v.valov@mail.ru</a>
Колотухин Александр Юрьевич	ассистент кафедры экологии, природопользования, землеустройства и БЖД, ФГБОУВО «Астраханский государственный университет», <a href="mailto:m.v.valov@mail.ru">m.v.valov@mail.ru</a>
Бармин Александр Николаевич	доктор географических наук, профессор, декан геолого-географического факультета, ФГБОУВО «Астраханский государственный университет», <a href="mailto:abarmin60@mail.ru">abarmin60@mail.ru</a>
Татаринцев Сергей Александрович	доцент кафедры экологии, природопользования, землеустройства и БЖД, ФГБОУВО «Астраханский государственный университет», <a href="mailto:m.v.valov@mail.ru">m.v.valov@mail.ru</a>
Синцов Александр Владимирович	кандидат географических наук, доцент кафедры экологии, природопользования, землеустройства и БЖД, ФГБОУВО «Астраханский государственный университет», <a href="mailto:m.v.valov@mail.ru">m.v.valov@mail.ru</a>

*Поступила в редакцию 10.09.2021 г.*

*Принята к публикации 16.11.2021 г.*

УДК [631.44.06:550.424](234.86)

**РАСПРЕДЕЛЕНИЕ И МИГРАЦИЯ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПОЧВАХ  
ХРЕБТА МАГНИТНОГО (ГПЗ «КАРАДАГСКИЙ»)\***

**Дрыгваль П. В.<sup>1</sup> Дрыгваль А. В.<sup>1,2</sup>, Лебедев Я. О.<sup>3</sup>, Горбунов Р. В.<sup>2</sup>, Станис Е. В.<sup>1</sup>,  
Фам Кам Ньунг<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Российский университет дружбы народов, г. Москва, Российская Федерация,

<sup>2</sup>ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН»,  
г. Севастополь, Российская Федерация,

<sup>3</sup>Московское представительство ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени  
А. О. Ковалевского РАН», г. Москва, Российская Федерация,  
e-mail: [anu-poly@mail.ru](mailto:anu-poly@mail.ru)

В статье затронут вопрос распространения и миграции некоторых химических элементов в пределах почвенной катены, заложенной на территории горного массива Карадаг (хребет Магнитный). Катена представлена тремя точками (почвенными разрезами), заложенными на вершине хребта Магнитного, а также на его склонах северо-западной и юго-восточной экспозиций. Разрезы заложены в автоморфных и трансаккумулятивных условиях формирования почв. Даны подробные описания почвенных разрезов, а также проведён химический анализ проб почвенных горизонтов. В пробах почв определены: актуальная кислотность, количество гумуса, содержание некоторых микро- и макроэлементов в валовой и подвижной формах. Рассмотрен характер миграции некоторых химических элементов как в пределах разрезов, так и в пределах заложенной катены в целом. Отмечено, что исследованные химические элементы из почв, развивающихся в автоморфных ландшафтных условиях, на водораздельном хребте Магнитном (точка 2) мигрируют с последующей аккумуляцией в соподчинённые трансаккумулятивные ландшафты склонов (точки 1 и 3), занятых лесной растительностью. Кроме того, концентрация всех исследованных элементов в органогенных горизонтах почв трансаккумулятивных ландшафтных условий склонов выше, чем в почвах автоморфных условий плакорной поверхности водораздела.

**Ключевые слова:** миграция элементов, почвы заповедника, геохимическое сопряжение, почвенная катена, Карадагский заповедник.

## Введение

Комплексное геохимическое исследование почв Карадагского заповедника является значимой основой для понимания функционирования природных экосистем, так как почвы являются узловым звеном экологических систем, которое влияет на их биоразнообразие и возможность существования биогеоценозов в целом. Почвы регулируют процессы миграции веществ в ландшафтах, являясь при этом аккумулялирующей буферной зоной. Изучение характера распределения и миграции химических элементов в почве даёт понимание процессов миграции вещества, происходящих в ландшафте. Изучение почв в заповедных, малонарушенных зонах является важным направлением, так как позволяет осуществить решение большого диапазона задач. Именно такие территории являются эталонными участками для сравнения состояния природных систем в похожих условиях.

Изучению почв горных территорий посвящено довольно много работ, связанных с комплексными исследованиями как самих почв, так и факторов, влияющих на их формирование и развитие [Иванов, 1958; Кочкин, 1967]. Следует выделить отдельно

---

\* Работа выполнена по теме государственного задания ФИЦ ИнБИОМ, регистрационный номер 121040100327-3.

работы, посвящённые геохимическим особенностям почвенного покрова Крымского полуострова [Алексашкин, Хижняк, Горбунов, 2007; Ежов и др., 2014; Опанасенко, 2014]. В частности, геохимическим особенностям поверхностных отложений и закономерностям распределения микроэлементов в почвах, в том числе заповедных зон, были посвящены работы [Жовинский, Кураева, 2002; Локтионова и др., 2014]. Изучением ландшафтно-геохимических особенностей Крымского полуострова занималась группа авторов с работами [Важкі метали ... , 2005; Михаленок, 1989].

Цель настоящего исследования — выявление основных закономерностей распределения и миграции некоторых химических элементов в почвах хребта Магнитного в Карадагском природном заповеднике.

### Результаты и обсуждение

Территория исследования находится в пределах горного массива Карадаг. Он сложен разнообразными вулканическими и осадочными горными породами. Территория занята лесными сообществами, редколесьем, степным травостоем в комплексе с каменистыми обнажениями горных пород. Литолого-геоморфологическое и экологическое разнообразие современных условий и процессов почвообразования на Карадаге формируют высокую пространственную дифференциацию типов почв заповедника.

В целях изучения характера распространения и миграции химических элементов в почве Карадагского заповедника была заложена почвенная катена в пределах хребта Магнитного. Она представлена тремя точками (почвенными разрезами), заложёнными на вершине хребта (точка 2), а также на склонах северо-западной и юго-восточной экспозиций (точки 1 и 3 соответственно). Следует отметить, что расположение точек профиля 1 и 3 на склонах северо-западной и юго-восточной экспозиций обуславливает различные инсоляционные и импульверизационно-циркуляционные процессы, влияющие на характер распространения и миграции химических элементов в почве.

Почвенная катена составляет два геохимических сопряжения от вершины хребта Магнитного до точек на склонах. Согласно геологической карте [Петрографическая карта ... , 1933] хребет Магнитный в зоне заложения почвенной катены сложен туфами и туфобрекчиями, потоками спилитов, кератоспилитов, андезитов и андезито-базальтов верхнебайоского возраста.

Точки почвенной катены были выбраны с учётом различных ландшафтно-геохимических условий — автоморфных и трансаккумулятивных условий почвообразования. Почвенная катена изображена на рис. 1.

Пробы почвы отбирались из каждого почвенного горизонта для дальнейших лабораторных исследований. Были определены следующие показатели: актуальная кислотность почвы, количество гумуса, содержание в почвах некоторых микро- и макроэлементов в валовой и подвижной формах, гранулометрический состав почв.

Актуальную кислотность почвы определяли по показателю рН её водной вытяжки. Количественное определение гумуса осуществлялось по методу Тюрина. Валовые и подвижные формы элементов в почве определяли с помощью масс-спектрометра с индуктивно связанной плазмой PlasmaQuant MS Elite на базе научно-образовательного центра коллективного пользования «Спектрометрия и хроматография» ФИЦ ИнБЮМ.

Почвенный разрез № 1 (точка 1 почвенной катены) представлен дерново-бескарбонатной слабоскелетной среднесуглинистой почвой, сложенной на делювии верхнеюрских туфов и туфобрекчий. В разрезе выделены горизонты: А0 — Ad — А — ВС. Он заложен на склоне северо-западной экспозиции хребта Магнитного. Поверхность участка наклонная, кочковатая. Уклон поверхности составляет 15°, 319 м н. у. м. Разрез заложен под пушистодубово-ясеневым лесом. Территория соответствует трансаккумулятивным условиям формирования почвы (рис. 2А).

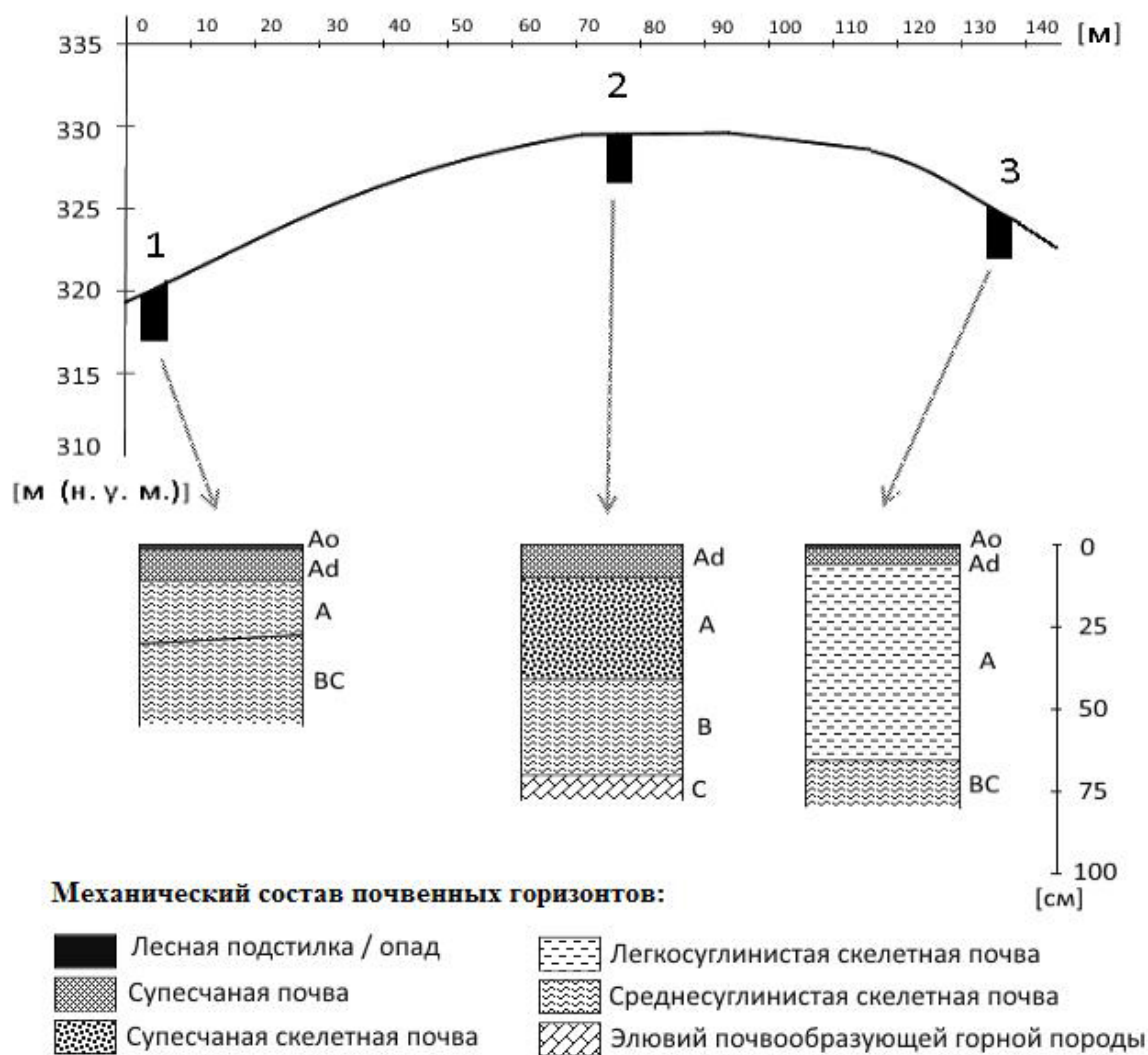


Рис. 1. Почвенная catena на хребте Магнитном

Горизонт А0. Горизонт представлен лесной подстилкой, состоящей из сухой опавшей листвы дуба пушистого (*Quercus pubescens*).

Горизонт Ad. Глубина залегания — 1–12 см, мощность — 11 см, почва чёрная (7,5YR 2,5/1), сухая, супесчаная, мелкокомковато-пылеватая, рыхлая; новообразований нет; включений нет; живая фаза представлена корнями растений; характер перехода к следующему горизонту ясный по плотности; форма нижней границы ровная.

Горизонт А. Глубина залегания — 12–25/30 см, мощность — 13–18 см, почва тёмно-коричневая (7,5YR 3/2), свежая, представлена средним суглинком, пылевато-мелкокомковатая, плотная; новообразований нет; включения представлены мелким делювием в виде дресвы (с ржавыми, светло-оранжевыми пятнами на гранях включений и до 2 см в диаметре); живой фазы нет; характер перехода к следующему горизонту ясный по плотности; форма нижней границы слабо-наклонная.

Горизонт BC. Видимая глубина залегания — 25/30–55 см, видимая мощность — 25–30 см, почва тёмно-серовато-коричневая (10YR 4/2), свежая, средний суглинок, мелко- и среднекомковатая, очень плотная; новообразований нет; включения представлены щебнем, дресвой, валунами делювия (с ржавыми, светло-оранжевыми пятнами на гранях включений); живой фазы нет.

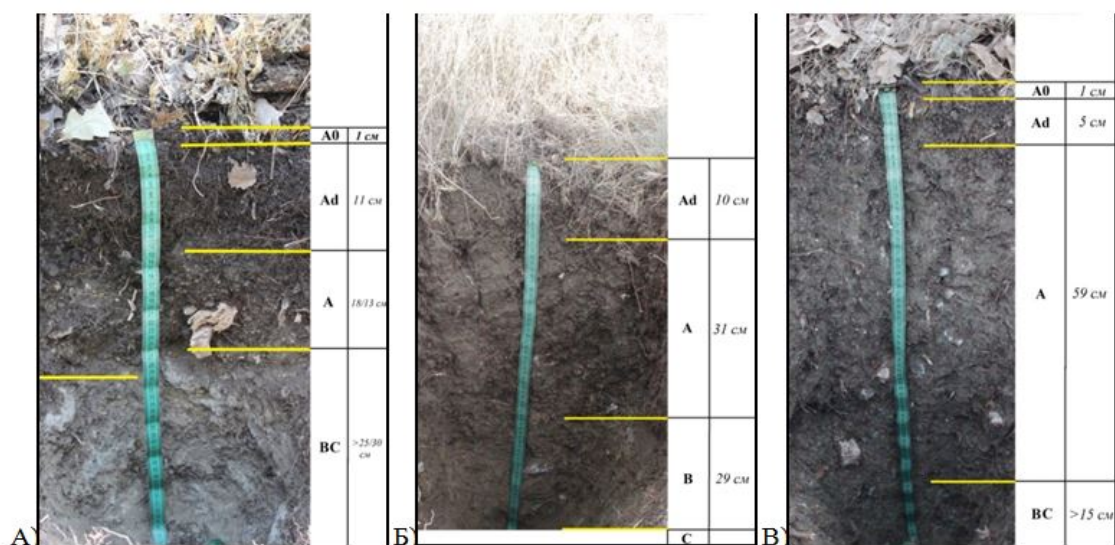


Рис. 2. А — почвенный разрез № 1, Б — почвенный разрез № 2, В — почвенный разрез № 3

Таблица 1

Содержание химических элементов в почвах катены в валовой и подвижной (выделено цветом) формах, мг/кг

№ разреза	1			2			3		
	Ad	A	BC	Ad	A	B	Ad	A	BC
K	3061,8	1101,0	723,5	1147,2	1237,7	521,1	2789,4	1449,1	435,0
	1525,6	348,2	228,2	960,4	1058,8	846,6	941,1	462,3	170,0
Mg	3052,4	3130,0	4958,8	1439,2	2073,4	2740,9	3650,5	3412,6	2428,9
	805,7	955,0	878,8	818,1	1372,8	1783,0	853,1	1059,8	1156,0
Al	29547,2	11415,1	11489,7	8928,2	7645,8	15212,6	11341,5	17434,0	9763,7
	6,7	19,4	23,0	25,5	36,7	57,2	11,0	18,6	19,2
Fe	6395,9	6320,9	7479,3	3724,2	5057,5	5791,2	7019,3	5909,1	3158,6
	19,6	18,1	14,0	11,2	22,0	27,2	14,2	16,2	19,3
Mn	605,4	481,7	505,9	357,8	452,8	615,4	492,6	352,8	204,5
	43,7	50,2	39,6	54,9	57,1	34,2	29,9	42,6	34,6
Sr	60,2	41,8	43,1	17,2	27,9	37,8	60,7	46,9	51,5
	30,8	21,8	19,5	18,2	16,6	15,3	22,1	19,0	20,6
Zn	56,7	35,5	38,6	33,6	36,8	42,5	42,5	37,6	22,1
	2,0	0,6	1,1	0,8	0,9	0,4	1,8	1,0	0,4
Cu	12,0	5,8	6,5	5,2	3,6	4,1	9,8	11,0	2,3
	0,2	0,2	0,3	0,1	0,1	0,1	0,3	0,2	0,1
Pb	12,6	6,7	7,4	4,9	5,4	5,7	8,8	6,3	4,0
	0,6	0,2	0,3	0,2	0,2	0,1	0,3	0,2	0,3

Почвенный разрез № 2 (точка 2 почвенной катены) представлен дерново-бескарбонатной супесчано-среднесуглинистой слабоскелетной почвой, сложенной на элювии верхнеюрских туфов и туфобрекчий. В разрезе выделены горизонты: Ad — A — B — C. Он заложен на вершине хребта Магнитного, на слабонаклонной, субгоризонтальной поверхности с уклоном 5°, 329 м н. у. м. Территория соответствует автоморфным условиям формирования почвы (рис. 2Б).



Горизонт Ad. Глубина залегания — 0–10 см, мощность — 10 см, почва тёмно-серовато-коричневая (2,5Y 3/2), сухая, супесчаная, мелкокомковато-пылеватая, рыхлая; новообразований нет; включений нет; живая фаза представлена корнями растений; характер перехода к следующему горизонту ясный по включениям и плотности; форма нижней границы ровная.

Горизонт A. Глубина залегания — 10–41 см, мощность — 31 см, почва тёмно-коричневая (10YR 2/2), сухая, супесчаная, мелко- и среднекомковатая, очень плотная; новообразований нет; включения представлены мелким щебнем и дресвой элювия (очень мало); живая фаза представляет собой корни растений; характер перехода к следующему горизонту явный по цвету; форма нижней границы слабоволнистая.

Горизонт B. Глубина залегания — 41–70 см, мощность — 29 см, почва оливково-коричневая (2,5Y 4/3), сухая, представлена средним суглинком, пылевато-мелкокомковатая, очень плотная; новообразования единично представлены маленькими чёрными (угольными) примазками; включения — мелкий щебень и дресва элювия (больше, чем в горизонте A), видны белые примазки от включений элювия; живой фазы нет; характер перехода к следующему горизонту определяется по плотности.

Горизонт C. Видимая глубина залегания — 70 см и ниже.

Почвенный разрез № 3 (точка 3 почвенной катены) представлен дерново-бескарбонатной супесчано-суглинистой скелетной почвой, сложенной на делювии верхнеюрских туфов и туфобрекчий. В разрезе выделены горизонты: A0 — Ad — A — BC. Он заложен на склоне юго-восточной экспозиции хребта Магнитного. Поверхность участка наклонная, уклон — 15°, 324 м н. у. м. Разрез заложен под пушистодубовым лесом. Точка представляет собой трансаккумулятивные условия формирования почвы (рис. 2B).

Горизонт A0. Глубина залегания — 0–1 см, опад, представленный сухими листьями дуба пушистого (*Quercus pubescens*).

Горизонт Ad. Глубина залегания — 1–6 см, мощность — 5 см, почва чёрная (7,5YR 2,5/1), сухая, супесчаная, мелко- и среднекомковато-пылеватая, уплотнённая; новообразований нет; включений нет; живая фаза представлена корнями растений; характер перехода к следующему горизонту ясный по включениям, цвету и плотности; форма нижней границы ровная.

Горизонт A. Глубина залегания — 6–65 см, мощность — 59 см, почва тёмно-коричневая (10YR 2/2), свежая, представлена легким суглинком, крупно- и среднеореховатая, плотная; новообразования представлены чёрной (угольной) примазкой 2 см в диаметре, а включения — мелкой дресвой и щебнем; живая фаза представлена корнями растений (дуба); характер перехода к следующему горизонту плавный по цвету; форма нижней границы ровная.

Горизонт BC. Видимая глубина залегания — 65–80 см, мощность — 15 см, почва тёмно-коричневая (10YR 2/2), сухая, представлена средним суглинком, крупно- и среднеореховатая, плотная; новообразований нет; включения представлены крупным щебнем и мелкой дресвой; живой фазы нет.

Рассмотрим геохимические особенности миграции элементов в пределах рассматриваемой территории, начиная с водораздела.

Дерново-бескарбонатная супесчано-среднесуглинистая слабоскелетная почва (сложенная на элювии верхнеюрских туфов и туфобрекчий) (точка 2) формируется на водораздельном пространстве в автоморфных условиях под степным злаковым сообществом. Данное обстоятельство обуславливает активный поверхностный сток — снос вещества вниз по склонам. Также эти условия способствуют накоплению влаги от атмосферных осадков в почве и её депонированию в минеральных горизонтах в комплексе с активными процессами испарения влаги в поверхностных слоях почвы вследствие инсоляционной активности на водораздельной поверхности.

Таблица 2

Значения рН, содержания гумуса и гранулометрического состава почв катены

№ разреза	Горизонт	рН	Гумус, %	Гранулометрический состав, %			
				< 0,1 мм	0,1–0,25 мм	0,25–0,5 мм	0,5–1 мм
1	Ad	7,2	15,5	7,1	26,2	40,5	26,2
	A	7,0	3,1	11,9	31,0	40,5	16,6
	BC	6,0	5,6	9,1	15,9	25,0	50,0
2	Ad	6,7	12,4	15,2	36,9	37,0	10,9
	A	7,3	6,2	8,9	28,9	40,0	22,2
	B	7,4	4,7	14,3	23,8	26,2	35,7
3	Ad	7,0	9,5	9,3	23,2	34,9	32,6
	A	7,0	6,9	25,6	23,3	30,2	20,9
	BC	7,3	3,6	15,6	26,6	28,9	28,9

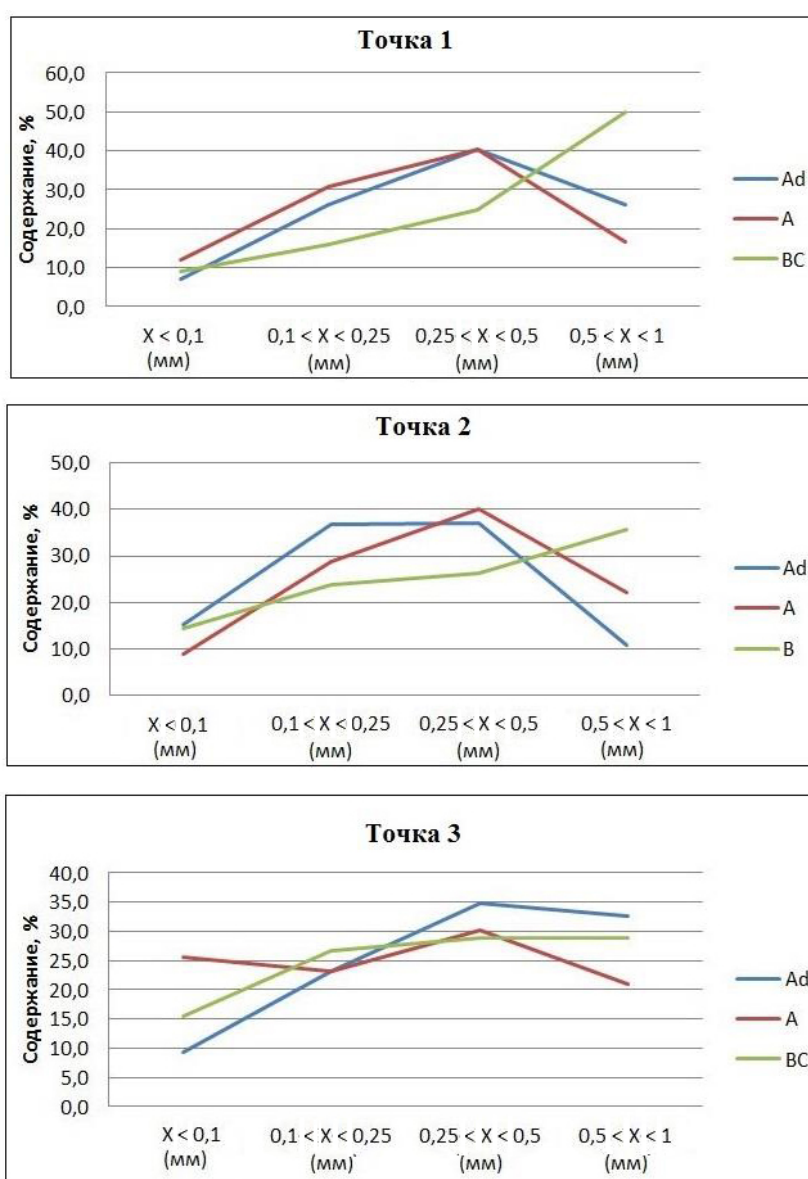


Рис. 3. Гранулометрический состав почв катены на хребте Магнитном

Гранулометрически в горизонте В (точка 2) преобладает крупный песок, с глубиной количество этой фракции увеличивается (с 10,9 до 35,7 %). Уменьшение количества крупного песка в верхнем горизонте почвенного разреза (Ad) объясняется активным выносом обломков горных пород и материала грунта и его накапливанием на склонах северо-западной и юго-восточной экспозиций. Поверхностный сток со склона приводит к переносу крупного песка (0,5–1 мм) с горизонтальной поверхности (точка 2) на склоны (точки 1 и 3), что показывают характеристики гранулометрического состава почв (увеличение содержания данной фракции в верхних горизонтах в 2,5 и 3 раза соответственно). Менее активный смыв почвенного материала происходит в сторону склона северо-западной экспозиции хребта Магнитного (точка 1), что объясняется более слабым промывным режимом данного участка.

Отмечается миграция ряда элементов (Mg, Fe, Mn, Sr, Zn, Pb) вниз по почвенному разрезу № 2 — от органогенных горизонтов к минеральным. Так, для Mn отмечено постепенное накапливание валовых форм в горизонте В (615,4 мг/кг) с уменьшением содержания подвижных форм — от 54,9 мг/кг в горизонте Ad до 34,2 мг/кг в горизонте В. Аналогичное распределение отмечено для Sr, Zn, Pb. Для Mg и Fe характерно постепенное накапливание валовых (от 1439,2 до 2740,9 мг/кг для Mg; от 3724,2 до 5791,2 мг/кг для Fe) и подвижных форм (от 818,1 до 1783,0 мг/кг для Mg; от 11,2 до 27,2 мг/кг для Fe) от горизонта Ad к горизонту В, что может являться следствием их содержания в составе почвообразующих горных пород, а также такое накапливание может быть связано с особенностями гранулометрического состава (фракция < 0,1 мм увеличивается до 14,3 % вниз по почвенному разрезу к горизонту В). Кроме того, Mg, являясь одним из наиболее распространённых талассофильных элементов [Алексеев, Бузмаков, Панин, 2013], может поступать в гумусовый горизонт с морскими аэрозолями.

В отличие от описанных выше элементов Al имеет несколько иной характер распространения в почвенном разрезе. Al как амфотерный металл активно переходит в подвижную форму в щелочной среде при наличии достаточного увлажнения. В данных условиях наблюдается закономерное постепенное увеличение содержания подвижных форм Al к минеральному горизонту В до 57,2 мг/кг на фоне резкого увеличения концентрации содержания валовых форм в этом горизонте до 15212,6 мг/кг и формирования элювиального горизонта А с уменьшением содержания Al до 7645,8 мг/кг, что находит своё объяснение в изменении гранулометрического состава почвы в этом горизонте — уменьшении содержания фракции частиц < 0,1 мм до 8,9 %, так как кислород-гидроксиалюминиевые и кремнекислородные соединения входят в состав глинистых минералов.

Для Cu в целом характерна невысокая миграционная активность. Вследствие высокого содержания гумуса (12,4 %) в горизонте Ad и преобладания фракции < 0,1 мм (15,2 %), Cu может образовывать слаборастворимые соединения, как, например, карбонат-дигидроксид меди ((CuOH)<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) при реакции с диоксидом углерода (CO<sub>2</sub>). Объёмы поступающих растворов органических кислот, вероятно, недостаточны для активного закономерного выноса Cu из гумусового к минеральным горизонтам, в результате чего Cu частично концентрируется в гумусовом горизонте в валовых формах.

К (калий), вследствие его активного поглощения растениями, особенно злаками, имеющими неглубокое распространение корневой системы, имеет незначительное снижение содержания как подвижной, так и валовой форм в горизонте Ad (до 10 см глубиной) по сравнению с нижележащим горизонтом А (от 10 см и глубже). Высокие показатели миграции К вниз по почвенному разрезу могут быть связаны с его высокой миграционной активностью, постоянным привнесением К с морскими аэрозолями (а также с поверхностным стоком с ливневыми осадками), вследствие чего он активно выносится в нижележащие горизонты и далее — в геохимически соподчинённые ландшафты.

На склоне северо-западной экспозиции в трансаккумулятивных условиях формируется дерново-бескарбонатная слабоскелетная среднесуглинистая почва (сложенная на элювии верхнеюрских туфов и туфобрекчий) и развивается под пушистодубово-ясеневым лесом, произрастающим на наклонной поверхности ( $15^\circ$ ) северо-западной экспозиции (точка 1).

В почвенном разрезе точки 1 прослеживается схожее распределение валовых форм элементов Al, Fe, Mn, Sr, Zn, Cu, Pb в почвенных горизонтах, аналогично точке 2. Данные элементы содержатся в наименьшем количестве в горизонте А, залегающем на глубине 12–25/30 см и мощностью от 13 до 18 см. Аккумуляция элементов в валовой форме Al, Mn, Sr, Zn, Cu и Pb происходит в органогенном горизонте, а Fe — в минеральном горизонте. Накапливание этих элементов в верхних и частично в нижних горизонтах почвенного разреза довольно хорошо совпадает с распределением содержания гумуса в почвенном разрезе. Наибольшее содержание гумуса в горизонте А — 15,5 %, затем, ниже по почвенному разрезу, его содержание резко снижается до 3,1 % и в минеральном горизонте ВС вновь незначительно увеличивается до 5,6 %. Таким образом, необходимо отметить, что у элементов Al, Mn, Sr, Zn, Cu и Pb прослеживается схожая тенденция накапливания валовых форм в почвенном разрезе.

К характеризуется накапливанием валовой и подвижной форм элемента в верхнем органическом горизонте (до 3061,8 мг/кг) в связи с его активным биологическим поглощением растениями, имеющимися на поверхности почвенного покрова. В минеральном горизонте происходит плавное снижение содержания К до 723,5 мг/кг.

Обратное распределение по почвенному разрезу имеет Mg. Накапливание в валовой форме происходит закономерно вниз по почвенному разрезу (от 3052,4 до 4958,8 мг/кг), с максимумом в минеральном горизонте ВС. Миграционная активность Mg в пределах почвенного разреза сравнима с поведением Mn. Для Mg и Mn отмечено увеличение содержания подвижных форм в горизонте А (до 955 и 50,2 мг/кг соответственно), обусловленное наличием механического барьера в нижележащем горизонте ВС (увеличение глинистой фракции до 50 %).

Особый характер распределения отмечен для Zn и Pb. Как валовые, так и подвижные формы этих элементов имеют максимальные значения концентрации в горизонте Ad (56,7 и 2 мг/кг; 12,6 и 0,6 мг/кг соответственно), минимальные значения концентрации отмечены в горизонте А (35,5 и 0,6 мг/кг; 6,7 и 0,2 мг/кг соответственно) с постепенным увеличением к иллювиальному горизонту ВС (38,6 и 1,1 мг/кг; 7,4 и 0,3 мг/кг соответственно).

Содержание подвижных форм К, Fe и Sr закономерно снижается вниз по почвенному разрезу. В случае с К и Sr такое распределение может быть связано с активным накапливанием микроэлементов в наземной фитомассе [Шеуджен, 2003]. Концентрации Al и Pb, напротив, закономерно увеличиваются с глубиной.

Склон юго-восточной экспозиции (точка 3) имеет наиболее активный промывной режим на территории, принимает поверхностный сток с водораздельного участка, а также характеризуется более интенсивным, глубинным промачиванием поверхности. Почва, сформированная на данном склоне, — дерново-бескарбонатная супесчано-суглинистая скелетная, сложенная на делювии верхнеюрских туфов и туфобрекчий. Почва развивается в трансаккумулятивных условиях под пушистодубовым лесом. Поверхность склона имеет уклон  $15^\circ$  в сторону моря.

Здесь отмечено следующее распределение химических элементов по почвенному разрезу: валовые формы К, Mg, Fe, Mn, Zn и Pb, наряду с подвижными формами этих элементов, аккумулируются в верхних горизонтах. Пределы изменения, по сравнению с нижележащими горизонтами, следующие: К (от 170 до 941,1 мг/кг), Zn (от 0,4 до 1,8 мг/кг) и Cu (от 0,1 до 0,3 мг/кг), что говорит об активном участии данных элементов в росте и развитии растений. Обратное поведение в распределении подвижных форм элементов имеют Mg, Al и Fe,

содержание которых увеличивается в минеральных горизонтах. Данное обстоятельство может, с одной стороны, свидетельствовать о высоком содержании этих элементов в почвообразующих горных породах, а с другой — об их активной миграции из верхних горизонтов вследствие достаточного увлажнения. Необходимо также отметить значительные концентрации в почвах Fe и Al (9763,7–17434 мг/кг для Al и 3258,6–7019,3 мг/кг для Fe) в валовой форме на фоне низких концентраций их подвижных форм (от 11–19,2 мг/кг для Al и 14,2–19,3 мг/кг для Fe). Это указывает на то, что Al и Fe в почве образуют малорастворимые комплексы (например, вследствие коагуляции Fe с гумусовыми кислотами).

Особое внимание необходимо уделить распределению валовых форм таких элементов, как Al и Si, накапливающихся в горизонте A. Этот процесс может быть связан с проявлением механического барьера в указанном горизонте, что видно из данных гранулометрического состава — происходит резкое увеличение количества глинистой фракции < 0,1 мм до 25,6 % в сравнении с другими горизонтами. Таким образом, сами по себе алюмосиликаты накапливаются в этом горизонте в виде малорастворимых комплексов.

Важно отметить влияние моря на склон юго-восточной экспозиции. Такие условия способствуют накоплению некоторых элементов, забрасываемых с морскими аэрозолями в верхние горизонты почвы. Это видно по характеру распределения Sr по почвенному разрезу. Sr накапливается в верхнем органическом горизонте, достигая максимума концентрации как в валовой (60,7 мг/кг), так и в подвижной форме (22,1 мг/кг). Высокое содержание подвижной формы Mn в верхних горизонтах (Ad и A) может быть связано с содержанием органических гумусовых веществ.

### Выводы

Все рассматриваемые нами почвенные разрезы заложены в пределах одной геологической формации вулканического происхождения, представленной породами туфов и туфобрекчий, потоками спилитов, кератоспилитов, андезитов и андезито-базальтов верхнебайоского возраста. Геологическая обстановка территории обеспечивает содержание большого количества таких элементов, как Mg, Al и Fe. Делювий горных пород активно перемещается по склонам и накапливается, являясь источником химических элементов, вовлечённых в почвообразовательный процесс.

Отмечается миграция элементов из почв, формирующихся в автоморфных условиях на водораздельном участке хребта Магнитного (точка 2), и их накопление в почвах соподчинённых лесных ландшафтов на склонах (точки 1 и 3). Это характерно для всех рассматриваемых элементов. Происходит частичная аккумуляция валовых форм исследуемых элементов и последующий их смыв на прилегающие склоны (точки 1 и 3) посредством поверхностного стока. Концентрация всех рассматриваемых элементов (K, Mg, Al, Fe, Mn, Sr, Zn, Cu, Pb) в верхних горизонтах почвы выше на склонах, которые связаны с трансаккумулятивными условиями развития почв, чем на водораздельной поверхности, находящейся в автоморфных условиях развития почвы.

**Благодарности.** Работа поддержана Программой стратегического академического лидерства РУДН.

### Список литературы

1. *Алексаишкин И. В., Хижняк Ю. С., Горбунов Р. В.* Факторы и общие закономерности поведения тяжёлых металлов в почвах // Записки общества геоэкологов. – 2007. – Вып. 9. – С. 17–23.
2. *Алексеенко В. А., Бизмаков С. А., Панин М. С.* Геохимия окружающей среды : учеб. пособие для вузов. – Пермь : Перм. гос. нац. исслед. ун-т, 2013. – 359 с.
3. Важкі метали у ґрунтах заповідних зон України / НАН України, Ін-т геохімії, мінералогії та рудоутворення ; голов. ред. Е. Я. Жовинський. – Київ : Логос, 2005. – 104 с.
4. *Ежов А. Ю., Лебедев Я. О., Горбунов Р. В., Хижняк Ю. С., Горбунова Т. Ю., Кошовская О. С., Ревина Я. С., Ключкина А. А.* Особенности влияния антропогенных загрязнений и приморского положения территорий на процессы почвообразования // Исследования в области естественных наук. – 2014. – № 11. – С. 31–35. – URL: <https://science.snauka.ru/2014/11/8668> (дата обращения: 25.08.2021).
5. *Жовинский Э. Я., Кураева И. В.* Геохимия тяжёлых металлов в почвах Украины. – Киев : Наук. думка, 2002. – 213 с.
6. *Иванов В. Н.* Почвы Крыма и повышение их плодородия. – Симферополь : Крымиздат, 1958. – 184 с.
7. *Кочкин М. А.* Почвы, леса и климат горного Крыма и пути их рационального использования. – Москва : Колос, 1967. – 368 с.
8. *Локтионова Е. П., Кураева И. В., Войтюк Ю. Ю., Матвиенко А. В.* Литолого-геохимические особенности поверхностных отложений и закономерности отложения микроэлементов в природных объектах восточной части Южного берега Крыма // Экосистемы, их оптимизация и охрана. – 2014. – № 11. – С. 93–98.
9. *Михаленок Д. К.* Ландшафтно-геохимические особенности Восточной части горного Крыма : автореф. дис. ... канд. геогр. наук : 11.00.01. – Москва, 1989. – 16 с.
10. *Опанасенко Н. Е.* Скелетные почвы Крыма и плодовые культуры. – Херсон : Савченко А. В., 2014. – 333 с.
11. Петрографическая карта Карадага, 1925–1926 гг. // Вулканическая группа Карадага в Крыму / Ф. Ю. Левинсон-Лессинг, Е. Н. Дьяконова-Савельева. – Ленинград : Изд-во Акад. наук СССР, 1933. – [Прил.].
12. *Шеуджен А. Х.* Биогеохимия. – Майкоп : Адыгея, 2003. – 1028 с.

### DISTRIBUTION AND MIGRATION OF CHEMICAL ELEMENTS IN SOILS OF THE MAGNITNYJ RIDGE (KARADAG NATURE RESERVE)

Drygval P. V.<sup>1</sup>, Drygval A. V.<sup>2</sup>, Lebedev Ya. O.<sup>3</sup>, Gorbunov R. V.<sup>2</sup>, Stanis E. V.<sup>1</sup>,  
Pham Cam Nhung<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), Moscow, Russian Federation,*

<sup>2</sup>*A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, Russian Federation,*

<sup>3</sup>*Moscow representative office A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Moscow,*  
*Russian Federation,*

*e-mail: any-poly@mail.ru*

The article considers the distribution and migration of some chemical elements within the soil catena, that laid in the territory of the Karadag mountain group. The catena is represented by three points (soil profile cuts), which laid on the top of the ridge Magnitnyj, as well as on its slopes north-west and south-east exposures. The soil profile cuts are laid in automorphic and trans-accumulative conditions of soil formation. Descriptions of each soil profile cut are given, and chemical analysis of soil samples of each horizon is carried out. The actual acidity, the amount of humus, the content of some micro- and macroelements in total and active forms have been determined for the soil samples. The nature of distribution and migration of some chemical elements within the soil

profile cuts and soil catena in general is considered. In the article it is noted that there is a migration of the studied elements from soils formed in automorphic conditions on watershed area of ridge Magnitnyj (soil profile cut № 2) and their accumulation in the co-located forest landscapes on the slopes (soil profile cuts № 1 and № 3). It is revealed that the concentration of all studied elements in the upper soil horizons is higher on slopes, which are associated with trans-accumulative conditions of soil formation, than on the watershed surface, associated with automorphic conditions of soil formation.

**Keywords:** migration of elements, soils of nature reserve, geochemical co-ordination, soil catena, Karadag nature reserve

#### Сведения об авторах

Дрыгваль  
Полина  
Валерьевна аспирант, ассистент, Российский университет дружбы народов,  
any-poly@mail.ru

Дрыгваль  
Анна  
Валерьевна младший научный сотрудник, ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей  
имени А. О. Ковалевского РАН», drygval@mail.ru

Лебедев  
Ярослав  
Олегович научный сотрудник, Московское представительство ФГБУН ФИЦ  
«Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН»,  
ya.o.lebedev@yandex.ru

Горбунов  
Роман  
Вячеславович кандидат географических наук, директор, ФГБУН ФИЦ «Институт биологии  
южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», karadag\_station@mail.ru

Станис  
Елена  
Владимировна кандидат технических наук, профессор, Российский университет дружбы на-  
родов, estanis@mail.ru

Фам Кам Ньунг кандидат химических наук, младший научный сотрудник, ФГБУН ФИЦ  
«Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН»,  
nhung5782@yahoo.com

*Поступила в редакцию 28.09.2021 г.  
Принята к публикации 25.10.2021 г.*

УДК 911.52 (292.471)

## АНАЛИЗ АБСОЛЮТНЫХ ВЫСОТ РЕЛЬЕФА В ПРЕДЕЛАХ ЛАНДШАФТОВ КРЫМСКОГО ПОЛУОСТРОВА \*

Табунщик В. А., Келип А. А., Андрончик Я. О.

ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН»,

г. Севастополь, Российская Федерация,

e-mail: [tabunshchik@ya.ru](mailto:tabunshchik@ya.ru)

В статье получены количественные данные об абсолютной высоте рельефа в пределах таксономических единиц ландшафтов Крымского полуострова — ландшафтных уровней, ландшафтных зон, ландшафтных поясов и ярусов, а также групп местностей. Установлено, что значение абсолютной высоты рельефа является фактором, оказывающим большое влияние на дифференциацию ландшафтов Крымского полуострова на уровне высоких таксономических единиц. Постепенно влияние этого фактора сглаживается при выделении более мелких таксономических единиц.

**Ключевые слова:** ландшафт, Крым, Крымский полуостров, рельеф, высота, абсолютная высота, фактор.

### Введение

Характеристика рельефа территории является одним из важнейших факторов, влияющих на формирование и развитие ландшафтов [Рельеф и ландшафты, 1977; Структурно-региональный ... , 1984; Вопросы истории ... , 1976; Плюснин, 2003; Мурашова, 2013; Исаченко, 1991]. Уже в первых работах по выделению ландшафтов подчёркивалась важность рельефа. Л. С. Берг уже в 1915 г. [Берг, 1915, С. 471] указывает на рельеф как на один из факторов, формирующих ландшафт: «Природный ландшафт есть область, в которой характер рельефа, климата, растительного и почвенного покрова сливается в единое гармоническое целое, типически повторяющееся на протяжении известной зоны земли». Н. А. Солнцев говорит, что географическим ландшафтом следует называть «генетически однородную территорию, на которой наблюдается закономерное и типическое повторение одних и тех же взаимосвязанных сочетаний: геологического строения, форм рельефа, поверхностных и подземных вод, микроклиматов, почвенных разностей, фито- и зооценозов» [Солнцев, 2001]. Г. Н. Анненская с соавторами в работе [Морфологическая структура ... , 1962, С. 9] пишет, что «ландшафт — это генетически однородный природный территориальный комплекс, имеющий одинаковый геологический фундамент, один тип рельефа, одинаковый климат и состоящий из свойственного только данному ландшафту набора динамически сопряжённых и закономерно повторяющихся в пространстве основных и второстепенных урочищ». Таким образом, большинство авторов, даже представляющих различные научные школы ландшафтоведения, указывают, что на дифференциацию и функционирование ландшафтов оказывает влияние большое количество факторов, один из которых — рельеф.

Однако в большинстве случаев рельеф той или иной территории описывается качественными характеристиками и при этом игнорируется большой пласт количественной информации о рельефе территории, который может быть проанализирован и таким образом могут быть установлены связи рельефа с существованием ландшафтов. Одной из таких характеристик рельефа является абсолютная высота местности. Знание точных характеристик рельефа представляется крайне важным для понимания свойств ландшафта в целом, закономерностей его развития, прогноза возможных изменений под воздействием природных факторов и деятельности человека [Рельеф и ландшафты, 1977; Структурно-региональный ... , 1984].

\*Исследование выполнено в рамках темы НИР «Изучение пространственно-временной организации водных и сухопутных экосистем с целью развития системы оперативного мониторинга на основе данных дистанционного зондирования и ГИС-технологий», регистрационный номер 121040100327-3.



Для Крымского полуострова (КП) одной из наиболее детальных и информативных ландшафтных карт является ландшафтно-топологическая карта Г. Е. Гришанкова [Современные ландшафты ... , 2009]. В ней представлены контуры и описание операционно-территориальных единиц на разных уровнях ландшафтной организации: ландшафтные уровни (ЛУ) — самый высокий таксон, ландшафтные зоны (ЛЗ), ландшафтные пояса и ландшафтные ярусы (ЛП и ЛЯ), группы местностей (ГМ).

Однако следует признать, что в данной карте характеристики рельефа представлены только качественные, например «пояс лесных и лугово-лесостепных плато» или «пояс аккумулятивных и денудационных слабодренированных равнин...». Подробных количественных данных о ландшафтах КП на карте нет, а в более поздних публикациях, основанных на работе с данной картой, такая информация неполная либо противоречивая. [Современные ландшафты ... , 2009; Позаченюк, 1999]. При этом рельеф КП достаточно подробно исследован, существуют гипсометрические карты различных масштабов.

В связи с этим целью данного исследования был количественный анализ рельефа ландшафтных единиц КП, а именно фактора «абсолютная высота, м», актуализация данных, установление связей и закономерностей между величинами абсолютной высоты рельефа и ландшафтными единицами разных таксонов в пределах КП.

## Материалы и методы

Для анализа фактора рельефа «абсолютная высота, м» в пределах КП использовались данные Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), представленные в виде растра значений высоты, и программный комплекс QGIS, в котором производилась обработка растра значений абсолютной высоты и были получены статистические данные.

Методика исследования состояла в следующем:

1. Ландшафтно-типологическая карта Г. Е. Гришанкова, опубликованная в [Современные ландшафты ... , 2009], была оцифрована и переведена в шейп-формат.

2. С помощью инструментов зональной статистики путём сопоставления пространственного положения шейп-файла ландшафтной карты и растра значений абсолютной высоты для каждого контура в пределах ландшафтной карты, а также для Крымского полуострова получены минимальные, максимальные средние значения абсолютной высоты в пределах ландшафтного контура, а также медиана значений и амплитуда (факторная амплитуда) значений.

3. Дополнительно рассчитывался показатель относительной ширины факторной амплитуды, по которому производится разграничение ландшафтов на эврифакторные (с высоким значением факторной амплитуды, более 0,6), мезофакторные (со средними значениями факторной амплитуды, 0,1–0,6) и стенофакторные (с низкими значениями факторной амплитуды, менее 0,1), по формуле:

$$l(x)_i = \frac{x_{i \max} - x_{i \min}}{X_{\max} - X_{\min}}, \quad (1)$$

где  $l(x)_i$  — относительная ширина факторной амплитуды ландшафта  $i$ -го вида по фактору « $x$ »;

$x_{i \max}$ ,  $x_{i \min}$  — наибольшее и наименьшее значения амплитуды ландшафта  $i$ -го вида по фактору « $x$ »;

$X_{\max}$ ,  $X_{\min}$  — максимальное и минимальное значения фактора « $x$ » в пределах Крымского полуострова.

## Результаты и обсуждение

На территории КП значения абсолютной высоты над уровнем моря, полученные после обработки данных SRTM, колеблются от –14 (пересыхающие участки озёр, участки побережья) до 1531 м. Амплитуда значений при этом составляет 1545 м. Таким образом, эти значения выступают геоморфологической основой, на которой происходит функционирование ландшафтов. ЛУ КП по значению абсолютных высот сильно дифференцируются (таблица 1).

Таблица 1

Фактор	Ландшафтный уровень	Значение фактора					Относительная ширина амплитуды
		Минимум	Максимум	Амплитуда	Среднее значение	Медиана	
Абсолютная высота, м	Гидроморфный (ГЛУ)	–6	208	214	20,3	15	0,14
	Плакорный (ПЛУ)	–14	183	197	60,3	58	0,13
	Низкогорный (НЛУ)	–8	1047	1055	120,5	170	0,68
	Среднегорный (СЛУ)	1	1531	1532	279,0	550	0,99

Несмотря на это, наблюдается чёткая закономерность к увеличению абсолютных отметок высот, средних значений и медианы высот от ГЛУ к СЛУ. Хотя гидроморфный ЛУ занимает более низкое положение по сравнению с ПЛУ, факторная амплитуда ПЛУ немного меньше, чем у ГЛУ. Это объясняется в первую очередь сложным рельефом Керченского полуострова, на территории которого представлены отдельные фрагменты ГЛУ. Для большего понимания ситуации рассмотрим гистограммы распределения и плотность распределения абсолютных высот по каждому ЛУ (рис. 1). Из рисунка 1 следует, что каждый ландшафтный уровень в целом довольно чётко обособливается по значениям абсолютных высот, несмотря на то что факторные амплитуды пересекаются.

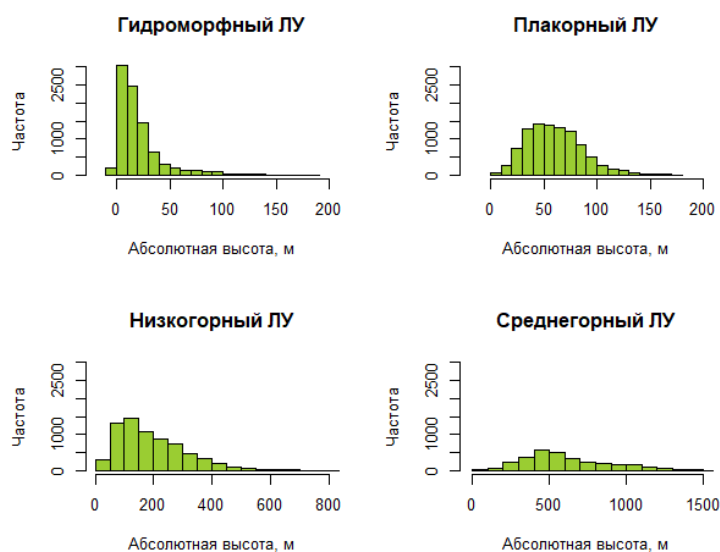


Рис. 1. Гистограммы распределения значений фактора «абсолютная высота, м» в пределах ЛУ КП

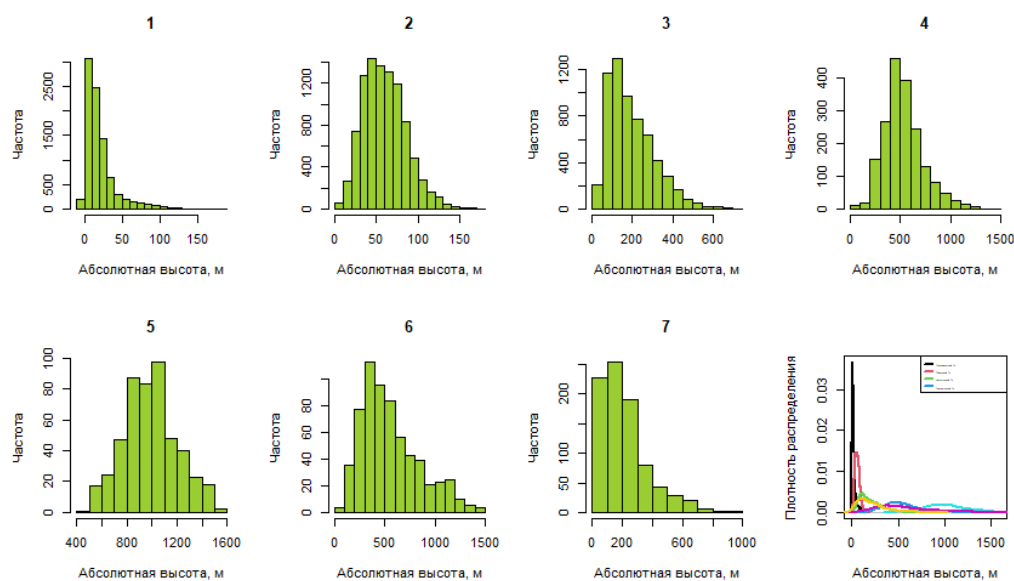
ЛУ подразделяются на ЛЗ. Учитывая тот факт, что ГЛУ и ПЛУ состоят только из одной ЛЗ каждый, всё вышесказанное по отношению к ЛУ может быть применимо и к соответствующим ЛЗ. НЛУ и СЛУ имеют более сложное разделение на ЛЗ. В таблице 2 представлено положение ЛЗ КП в пространстве фактора «абсолютная высота, м».

Таблица 2

Положение ЛУ КП в пространстве фактора «абсолютная высота, м»

Ландшафтная зона	Значение фактора					Относительная ширина амплитуды
	Минимум	Максимум	Амплитуда	Среднее значение	Медиана	
<b>Гидроморфный ландшафтный уровень</b>						
Зона низменных недренированных и слабодренированных аккумулятивных и денудационных равнин с типчаково-ковыльковыми, полынно-типчаковыми, полынно-житняковыми степями в комплексе с галофитными лугами и степями	-6	208	214	20,3	15	0,14
<b>Плакорный ландшафтный уровень</b>						
Зона типичных ковыльно-типчаковых и бедно-разнотравно-ковыльно-типчаковых степей в комплексе с петрофитными и кустарниковыми степями	-14	183	197	60,3	58	0,13
<b>Низкогорный ландшафтный уровень</b>						
Зона предгорных аккумулятивных, останцово-денудационных и структурных денудационных равнин и куэстовых возвышенностей с разнотравными степями, кустарниковыми зарослями, лесостепью и низкорослыми дубовыми лесами	-8	766	774	194,3	169	0,50
Зона южного макросклона гор, полусубтропических дубовых, фисташково-дубовых, можжевельно-сосновых лесов и шибляковых зарослей	-2	1047	1049	213,9	176	0,68
<b>Среднегорный ландшафтный уровень</b>						
Зона северного макросклона гор, буковых, дубовых и смешанных широколиственных лесов	1	1500	1499	532,6	504	0,97
Зона яйлинских плато, горных лугов и горной лесостепи	419	1531	1112	993,5	980	0,72
Зона южного макросклона гор, дубовых, сосновых и смешанных широколиственных лесов	41	1485	1444	557,3	491	0,93

В то же время на рисунке 2 представлена гистограмма распределения фактора «абсолютная высота, м» по ЛЗ.



**Рис. 2.** Гистограммы распределения фактора «абсолютная высота, м» для ЛЗ КП (цифрами обозначены ЛЗ). ГЛУ: 1 — зона низменных недренированных и слабодренированных аккумулятивных и денудационных равнин с типчаково-ковыльковыми, полынно-типчаковыми, полынно-житняковыми степями в комплексе с галофитными лугами и степями; ПЛУ: 2 — зона типичных ковыльно-типчаковых и бедно-разнотравно-ковыльно-типчаковых степей в комплексе с петрофитными и кустарниковыми степями; НЛУ: 3 — зона предгорных аккумулятивных, останцово-денудационных и структурных денудационных равнин и куэстовых возвышенностей с разнотравными степями, кустарниковыми зарослями, лесостепью и низкорослыми дубовыми лесами; 7 — зона южного макросклона гор, полусубтропических дубовых, фисташково-дубовых, можжевельново-сосновых лесов и шибляковых зарослей; СЛУ: 4 — зона северного макросклона гор, буковых, дубовых и смешанных широколиственных лесов; 5 — зона яйлинских плато, горных лугов и горной лесостепи; 6 — зона южного макросклона гор, дубовых, сосновых и смешанных широколиственных лесов.

ЛЗ подразделяются на ЛП / ЛЯ. Положение ЛП / ЛЯ КП в пространстве фактора «абсолютная высота, м» представлено в таблице 3.

Если рассматривать амплитуды поясов (таблица 2), составляющих ГЛУ, то отчётливо видно, что они пересекаются на значительных участках и в большинстве вариантов включают в себя друг друга. Ярусы, составляющие ПЛУ, практически не различаются по значению факторных амплитуд, однако немного дифференцируются по средним значениям. Наиболее пёстрая картина изменчивости пространственного распределения высоты характерна для НЛУ и СЛУ.

Для большинства ЛП / ЛЯ значения медианы и среднего значения отличаются на 1–7 %, за исключением двух поясов НЛУ — низкогорного пояса дубово-фисташковых, можжевельново-сосновых лесов и шибляковых зарослей и низкогорного пояса сосновых, дубовых и смешанных широколиственных лесов и шибляковых зарослей (15 и 13 % соответственно) и двух поясов ГЛУ — пояса прибрежных недренированных низменностей, пляжей и кос с галофитными лугами, солончаками и сообществами псаммофитов, а также пояса аккумулятивных и денудационных недренированных и слабодренированных низменностей с полынно-типчаковыми, полынно-житняковыми и ковыльно-типчаковыми степями, где расхождение средних значений и медианы значений достигает 45 и 50 % соответственно. Стоит отметить, что в большинстве рассматриваемых случаев средние значения превышают медиану значений по поясу и медиана более точно отражает среднюю тенденцию, так как распределение выборки асимметрично.

Таблица 3

Положение ландшафтных поясов и ландшафтных ярусов КП в пространстве фактора  
«абсолютная высота, м»

Ландшафтная зона	Значение фактора					Относительная ширина амплитуды
	Минимум	Максимум	Амплитуда	Среднее значение	Медиана	
Гидроморфный ландшафтный уровень						
Пояс прибрежных недренированных низменностей, пляжей и кос с галофитными лугами, солончаками и сообществами псаммофитов	-6	208	214	12,7	7	0,14
Пояс аккумулятивных и денудационных слабодренированных равнин с ковыльно-типчачковыми и полынно-типчачковыми степями	-6	167	173	28,1	14	0,11
Пояс аккумулятивных дренированных и слабодренированных низменностей с ковыльно-типчачковыми степями в комплексе с ковыльно-разнотравными степями	-4	88	92	19,6	18	0,06
Пояс аккумулятивных дренированных и слабодренированных низменностей с ковыльно-типчачковыми степями в комплексе с ковыльно-разнотравными степями	1	51	50	22,4	24	0,03
Плакорный ландшафтный уровень						
Верхний денудационный ярус ковыльно-типчачковых, петрофитных и кустарниковых степей	-2	183	185	72,7	74	0,12
Нижний денудационно-аккумулятивный ярус с ковыльно-типчачковыми, кустарниково-разнотравными и петрофитными степями	-14	165	179	53,7	52	0,12
Низкогорный ландшафтный уровень						
Зона предгорных аккумулятивных, останцово-денудационных и структурных денудационных равнин и куэстовых возвышенностей с разнотравными степями, кустарниковыми зарослями, лесостепью и низкорослыми дубовыми лесами						
Пояс бородачево-разнотравных и асфоделиново-разнотравных степей на аккумулятивных и денудационных равнинах	10	390	380	140,0	128	0,25
Пояс лесостепи на останцово-денудационных, структурных денудационных и аккумулятивных равнинах, куэстовых возвышенностях	-8	707	715	229,6	235	0,46
Пояс дубовых лесов и кустарниковых зарослей на останцово-денудационных и наклонных структурных денудационных равнинах и куэстовых возвышенностях	17	766	749	363,1	358	0,48
Зона южного макросклона гор, полусубтропических дубовых, фисташково-дубовых, можжевельново-сосновых лесов и шибляковых зарослей						
Низкогорный пояс дубово-фисташковых, можжевельново-сосновых лесов и шибляковых зарослей	-2	648	650	160,8	137	0,42
Низкогорный пояс сосновых, дубовых и смешанных широколиственных лесов и шибляковых зарослей	1	1047	1046	297,7	260	0,68
Среднегорный ландшафтный уровень						
Зона северного макросклона гор, буковых, дубовых и смешанных широколиственных лесов						
Пояс котловин и эрозионного низкогорья, дубовых, смешанных широколиственных и сосновых лесов	1	985	984	442,6	441	0,64

Продолжение на следующей странице...

Ландшафтная зона	Значение фактора					Относительная ширина амплитуды
	Минимум	Максимум	Амплитуда	Среднее значение	Медиана	
Пояс среднегорно-склоновый, дубовых, можжевельново-дубовых и смешанных широколиственных лесов	287	1133	846	602,9	589	0,55
Пояс среднегорно-склоновый, буковых, буково-грабовых, смешанных широколиственных лесов	233	1500	1267	773,1	749	0,82
Зона яйлинских плато, горных лугов и горной лесостепи						
Пояс лесных и лугово-лесостепных плато	419	1308	889	916,7	924	0,58
Пояс луговых и лугово-лесных плато	456	1531	1075	1189,2	1228	0,70
Зона южного макросклона гор, дубовых, сосновых и смешанных широколиственных лесов						
Пояс низкогорно-склоновый дубовых и смешанных широколиственных лесов	41	949	908	385,1	377	0,59
Пояс среднегорно-склоновый, дубовых, сосновых и смешанных широколиственных лесов	115	1465	1350	601,2	561	0,87
Среднегорный пояс буковых и смешанных широколиственных лесов	214	1485	1271	903,6	897	0,82

Наиболее мелкой таксономической единицей, рассматриваемой в данной работе, являются ГМ. В пределах ГМ значения абсолютной высоты значительно варьируются как пределах ЛУ, так и в пределах ЛЗ и ЛП / ЛЯ. Учитывая тот факт, что в пределах КП выделяются 124 группы местностей, их статистические характеристики представлены картографическими материалами. На рисунке 3 представлены: минимальные и максимальные значения, амплитуда значений, средние значения высоты, медиана значений и относительная ширина факторной амплитуды в пределах ГМ.

При укрупнении таксономических единиц ландшафтной организации территории КП можно отметить, что сужение факторных амплитуд на более мелких таксономических единицах выражено слабо и в некоторых моментах вообще отсутствует. Это говорит о том, что при одинаковой факторной амплитуде либо формируются различия в положении таксономической единицы вдоль градиента фактора, либо существует более мощный фактор, который оказывает воздействие на формирование таксономической единицы ландшафта.

Согласно [Подгородецкий, 1988], значения абсолютных отметок высот на территории Крымского полуострова колеблются от 0 до 1545 м. Полученные в работе данные о значениях абсолютных высот в пределах КП незначительно отличаются от приведённых в литературе. Стоит отметить, что ошибки измерения как абсолютных значений, так и ширины факторной амплитуды при использовании модели SRTM составляют менее 1 %. Это частично подтверждается в работе [Карионов, 2010], где указывается, что точность данных SRTM соответствует топографическим картам масштаба 1:50000. Данное утверждение справедливо и для проводимого исследования.

Исследованию абсолютных высот ландшафтов КП посвящено незначительное количество работ. В большинстве из них анализируются взаимосвязи абсолютных высот и компонентов ландшафта на различных масштабах исследования [Плугатарь и др., 2020; Позаченюк, Табунщик, 2014; Позаченюк, Петлюкова, 2016; Бондаренко, Михайлов, 2016]. Отдельно стоит отметить работы [Современные ландшафты ... , 2009; Позаченюк, 1999], в которых приводится довольно подробная характеристика абсолютных высот ландшафтов КП.

В пределах гидроморфного ЛУ абсолютные высоты изменяются от –6 до 208 м, плакорного ЛУ — от –13 до 186 м, низкогорного ЛУ — от –8 до 1047 м и среднегорного ЛУ — от 1 до 1531 м. Полученные данные существенно отличаются от приводимых ранее в литературе. Так, в работе [Современные ландшафты ... , 2009, С. 166] указывается, что в пределах гидроморфного ЛУ значения абсолютных высот изменяются от 0 до 40 м, плакорного ЛУ — от 40 до 190 м, низкогорного ЛУ — от 0 до 700 м и среднегорного ЛУ — от 200 до 1500 м. Однако далее в тексте [Современные ландшафты ... , 2009] указывается, что в пределах ГЛУ высоты изменяются от 0 до 30–40 м [Современные ландшафты ... , 2009, С. 165], в пределах ПЛУ — от 30–40 до 160–180 м [Современные ландшафты ... , 2009, С. 168], в пределах НЛУ — от «побережья до 500–600 м».

В работе [Позаченюк, 1999, С. 21] указывается совершенно другая амплитуда значений высоты: для плакорного ЛУ — от 40 до 150 м, низкогорного ЛУ — от 0 до 600 м и среднегорного ЛУ — от 0 до 1500 м. Таким образом, можно утверждать, что на данный момент значения абсолютных высот ЛУ КП не установлены.

Полученные данные позволяют высказать предположение, что в работах [Современные ландшафты ... , 2009; Позаченюк, 1999] приводятся ошибочные данные об абсолютных высотах. Наше предположение подтверждается следующими фактами: визуальный анализ ландшафтной карты (рис. 3) указывает на то, что в работе [Современные ландшафты ... , 2009, С. 166] приводятся ошибочные данные, так как отчётливо видно, что территория плакорного ЛУ граничит по побережью как с Чёрным, так и Азовским морями и на этих границах минимальные высоты плакорного ЛУ не могут достигать 40 м; также, если проанализировать пространственное положение среднегорного ЛУ, отчётливо видно, что он имеет выход к Чёрному морю и тем самым должен иметь минимальные значения абсолютных высот, начиная с 0 метров над уровнем моря, а никак не с 200 м.

Здесь также стоит отметить, что в работе [Современные ландшафты ... , 2009] иногда употребляется термин «предгорный ЛУ» вместо термина «низкогорный ЛУ». Если рассмотреть теоретическую работу Г. Е. Гришанкова [Гришанков, 1972], где он впервые сформулировал научное определение ЛУ, то в ней использован термин «предгорный ЛУ». Таким образом, в работе [Современные ландшафты ... , 2009] наблюдается терминологическая путаница, т. к. неясно, как появился термин «низкогорный ЛУ» и каково его содержание, есть ли различия между терминами. Помимо этого, в работе [Гришанков, 1972] автор указывает на тот факт, что в пределах материков ПЛУ имеют абсолютные отметки от 50 до 1000 м, а СЛУ — от 400 до 1200 м. Это утверждение, противоречащее полученным нами данным для КП, можно объяснить доказательствами, приведёнными выше. В то же время стоит отметить, что такие расхождения могли возникнуть из-за того, что в работе [Гришанков, 1972] теоретические построения выполнены для глобального масштаба (на уровне материка), а в данном исследовании использован региональный масштаб, что позволяет детализировать теоретические данные.

Характеристика абсолютных высот ЛЗ КП приводится в работах [Современные ландшафты ... , 2009; Позаченюк, 1999]. Учитывая тот факт, что ГЛУ и ПЛУ имеют каждый в своем составе только одну ЛЗ, приведённая выше информация для ЛУ будет справедлива и для ЛЗ. Стоит, однако, заметить, что в работах [Современные ландшафты ... , 2009; Позаченюк, 1999] употребляется термин «природная зона» или просто «зона». К тому же названия ЛЗ, составляющих ЛУ, в тексте работ [Современные ландшафты ... , 2009; Позаченюк, 1999] и в легенде ландшафтной карты Г. Е. Гришанкова, приводимой в работе [Современные ландшафты ... , 2009], существенно различаются, что вызывает определённые трудности с пониманием названия объекта исследования. Так, в легенде ландшафтной карты Г. Е. Гришанкова [Современные ландшафты ... , 2009, С. 621–628] указывается, что ГЛУ состоит только из одной зоны «низменных недренированных и слабодренированных аккумулятивных и денудационных равнин

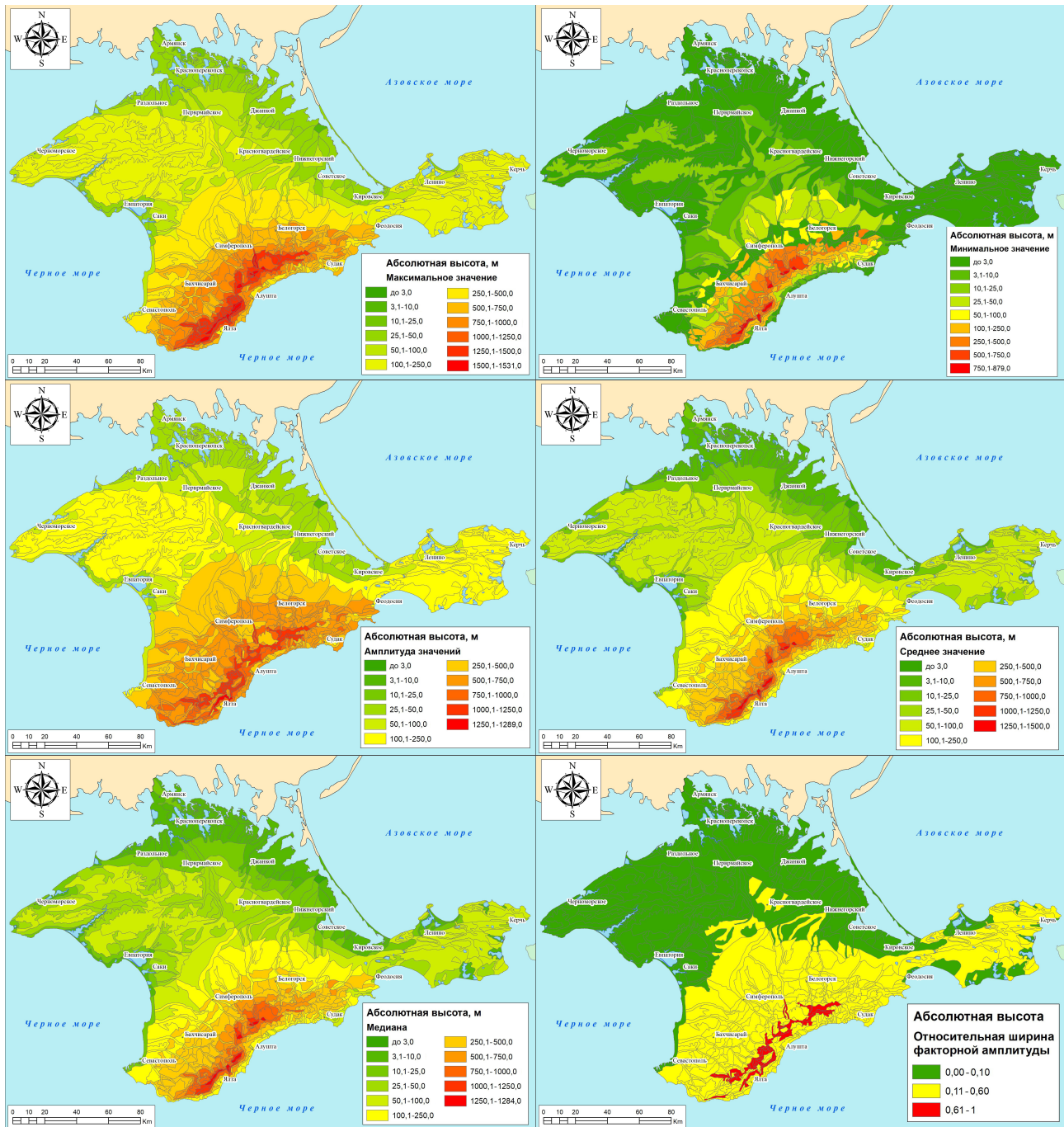


Рис. 3. Минимальные и максимальные значения, амплитуда значений, средние значения, медиана значений и относительная ширина факторной амплитуды по фактору «абсолютная высота, м» в пределах групп местностей Крымского полуострова (составлено автором)



с типчаково-ковыльковыми, полынно-типчаковыми, полынно-житняковыми степями в комплексе с галофитными лугами и степями», в то время как в тексте, помимо этой зоны, указывается и природная зона «полупустынных реликтово-бореальных степей в комплексе с галофитным и полусубтропическими степями полупустынного типа» [Современные ландшафты ... , 2009, С. 166]. Однако, несмотря на это, очевидно, что подразумеваются одни и те же объекты.

Полученные данные о характеристике ЛЗ отличаются от ранее опубликованных в работах других авторов. В таблице 2 указывается, что в пределах НЛУ зона предгорных аккумулятивных, останцово-денудационных и структурных денудационных равнин и куэстовых возвышенностей с разнотравными степями, кустарниковыми зарослями, лесостепью и низкорослыми дубовыми лесами имеет отметки высот от –8 до 766 м, а зона южного макросклона гор, полусубтропических дубовых, фисташково-дубовых, можжевельново-сосновых лесов и шибляковых зарослей имеет отметки высот от –2 до 1047 м. А в работе [Современные ландшафты ... , 2009, С. 171] указывается, что «низкогорный уровень занимает на северном и северо-западном макросклоне гор полосу на высоте от 100 до 700 м (предгорье), на южном (юго-восточном) — от побережья до 500–600 м». В пределах СЛУ зона горных лугов и горной лесостепи имеет значения абсолютных высот от 419 до 1531 м, в то время как в [Современные ландшафты ... , 2009, С. 402] указывается, что абсолютные высоты изменяются от 600 до 1500 м.

Полученные значения высоты в пределах ЛП и ЛЯ КП также значительно отличаются от данных, приводимых в работе [Современные ландшафты ... , 2009], однако полностью значения абсолютных высот приведены только для ЛП ГЛУ (таблица 4).

Таблица 4

Сравнение расчётных данных об абсолютных высотах в пределах поясов ГЛУ

Ландшафтный пояс	Абсолютная высота, м	
	Расчётные данные	по [1]
Пояс прибрежных недренированных низменностей, пляжей и кос с галофитными лугами, солончаками и сообществами псаммофитов	от –6 до 208	до 8–10
Пояс аккумулятивных и денудационных недренированных и слабодренированных низменностей с полынно-типчаковыми, полынно-житняковыми и ковыльно-типчаковыми степями	от –6 до 167	от 8–10 до 20
Пояс аккумулятивных и денудационных слабодренированных равнин с ковыльно-типчаковыми и полынно-типчаковыми степями	от –4 до 88	от 15 до 40
Пояс аккумулятивных дренированных и слабодренированных низменностей с ковыльно-типчаковыми степями в комплексе с ковыльно-разнотравными степями	от 1 до 51	от 15 до 40

Стоит отметить также тот факт, что в самом описании ЛП иногда встречаются неточности. Так, в [Современные ландшафты ... , 2009, С. 231] утверждается, что «пояс аккумулятивных и денудационных недренированных и слабодренированных низменностей с полынно-типчаковыми, полынно-житняковыми и ковыльно-типчаковыми степями ... расположен на высоте от 8–10 до 20 м над уровнем моря», однако далее отмечается, что в юго-западной части Керченского полуострова абсолютные высоты достигают 50–80 м, а это, в свою очередь, противоречит вышесказанному.

Поскольку в работах [Современные ландшафты ... , 2009; Позаченюк, 1999] не приводятся никаких данных о выборке значений, кроме минимальных и максимальных значений, то полное сравнение с полученными нами данными провести довольно затруднительно. Так, предположение о том, что данные об абсолютных высотах, представленные в [Современные ландшафты ... , 2009], близки к средним и медианным, не подтверждается расчётными данными.

В работе [Закаличная, Мельничук, 2020] для анализа высот в пределах Симферопольского района Республики Крым использована цифровая модель рельефа Advanced Land Observing Satellite-1 World 3D Topographic data (ALOS AW3D), Version 2.1, визуальное сравнение которой с SRTM показывает схожесть горизонталей, однако сравнить данные, представленные в [Закаличная, Мельничук, 2020, С. 203], с полученными данными для ландшафтных единиц не представляется возможным.

Подробная характеристика абсолютной высоты в пределах групп местностей (окоёмов) в литературе ранее не приводилась и в данной работе выполнена впервые.

Относительные факторные амплитуды показывают долю факторного пространства, которое занимает та или иная таксономическая единица. ГЛУ и ПЛУ по отношению к фактору абсолютной высоты являются мезофакторными, в то время как НЛУ и СЛУ — эврифакторными. При этом стоит учесть тот факт, что полученные значения для ГЛУ, ПЛУ и НЛУ близки к пограничным и в силу значительных площадей ЛУ на более низких таксонах ландшафтной организации имеют тенденцию к уменьшению значений относительной факторной амплитуды. Так, среди ЛП ГЛУ два пояса имеют узкий интервал значений относительной факторной амплитуды (стенофакторные), а два — средний (мезофакторные), ЛЯ ПЛУ — мезофакторные, а вот уже ГМ ГЛУ и ПЛУ практически все являются стенофакторными с узкими амплитудами. Среди ландшафтных поясов НЛУ только один пояс южного макросклона Крымских гор относится к эврифакторным, а остальные — мезофакторные. В пределах СЛУ преобладают эврифакторные ЛП. Таким образом, отчётливо прослеживается тенденция роста относительных значений факторных амплитуд при увеличении абсолютных высот с севера на юг на территории Крымского полуострова.

Обобщая вышеизложенное, можно сказать, что с помощью современных методов исследования получены новые данные о высоте таксономических единиц по карте Г. Е. Гришанкова. Полученные значения наиболее полно отражают значения абсолютных высот в пределах ландшафтов КП.

## Выводы

Получены новые, а также уточнены и дополнены количественные характеристики положения различных таксономических единиц ландшафтов Крымского полуострова в пространстве фактора «абсолютная высота, м». Установлено, что в ряде работ ранних лет приводятся неполные и разрозненные данные об абсолютной высоте ландшафтов Крымского полуострова. Проведенный анализ показывает, что распределение таксономических ландшафтных единиц на территории КП тесно связано с фактором абсолютной высоты рельефа и становится менее выраженным по мере укрупнения таксономических единиц — от ландшафтного уровня до группы местностей. В то же время видно, что рельеф отчётливо различается в пределах ГЛУ — ПЛУ и НЛУ — СЛУ.

### Список литературы

1. *Берг Л. С.* Предмет и задачи географии. Что такое география? / В. Семёнов-Тян-Шанский. – Петроград : Тип. М. М. Стасюлевича, 1915. – С. 471.
2. *Бондаренко М. А., Михайлов В. А.* Геоморфологические факторы формирования высотной поясности растительного покрова юго-восточного склона Бабуган-яйлы (Крымский полуостров) // Современные научные исследования и инновации. – 2016. – № 7. – URL: <https://web.snauka.ru/issues/2016/07/70250> (дата обращения: 19.09.2021).
3. Вопросы истории развития рельефа и ландшафты Азербайджанской ССР / ред.: Б. А. Антонов, Б. А. Будагов. – Баку : Элм, 1976. – 200 с. – (Труды Института географии / Акад. наук АзССР ; т. 16).
4. *Гришанков Г. Е.* Ландшафтные уровни материков и географическая зональность // Известия Академии наук СССР. Серия географическая. – 1972. – № 4. – С. 3–18.
5. *Закаличная О. В., Мельничук А. Ю.* Морфометрические характеристики рельефа агроландшафтов Симферопольского района Республики Крым // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъёмка. – 2020. – Т. 64, № 2. – С. 200–209. – <https://doi.org/10.30533/0536-101X-2020-64-2-200-209>
6. *Исаченко А. Г.* Ландшафтоведение и физико-географическое районирование. – Москва : Высш. шк., 1991. – 366 с.
7. *Карионов Ю. И.* Оценка точности матрицы высот SRTM // Геопрофи. – 2010. – № 1. – С. 48–51.
8. Морфологическая структура географического ландшафта / Моск. гос. ун-т им. М. В. Ломоносова ; под ред. Н. А. Солнцева. – Москва : [б. и.], 1962. – 54 с.
9. *Мурашова Е. Г.* Рельеф и пространственная дифференциация ландшафтов Зейско-Буреинской равнины. – Благовещенск : Изд-во Дальневост. гос. аграр. ун-та, 2013. – 200 с.
10. *Плугатарь Ю. В., Коба В. П., Новицкий М. Л., Пательбу В. В., Пшеничников Н. А.* Высотная зональность почвенных условий горных ландшафтов Юго-Восточного Крыма // Земледелие. – 2020. – № 8. – С. 10–15. – <https://doi.org/10.24411/0044-3913-2020-10802>
11. *Плюснин В. М.* Ландшафтный анализ горных территорий. – Иркутск : Изд-во Ин-та географии СО РАН, 2003. – 256 с.
12. *Подгородецкий П. Д.* Крым: природа. – Симферополь : Таврия, 1988. – 191 с.
13. *Позаченюк Е. А.* Ландшафтно-типологическая структура Крыма // Вопросы развития Крыма : науч.-практ. дискус.-аналит. сб. / отв. ред.: Л. Г. Апостолов, А. И. Дулицкий. – Симферополь : Сонат, 1999. – Вып. 11 : Биологическое и ландшафтное разнообразие Крыма: проблемы и перспективы. – С. 20–25.
14. *Позаченюк Е. А., Петлюкова Е. А.* ГИС-анализ морфометрических показателей рельефа центрального предгорья Главной гряды Крымских гор для целей ландшафтного планирования // Учёные записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. География. Геология. – 2016. – Т. 2, № 2. – С. 96–113.
15. *Позаченюк Е. А., Табуницкий В. А.* Построение ниш ландшафтов Крымского Присивашья (в пределах Джанкойского района АР Крым) // Геополитика и экогеодинамика регионов. – 2014. – Т. 10, № 1. – С. 322–328.
16. Рельеф и ландшафты : [сб. ст. : к 90-летию И. С. Щукина] / под ред. Н. А. Гвоздецкого, А. И. Спиридонова. – Москва : Изд-во Моск. ун-та, 1977. – 208 с.
17. Современные ландшафты Крыма и сопредельных акваторий / Респ. ком. АР Крым по охране окружающей природ. среды, Таврич. нац. ун-т им. В. И. Вернадского ; ред. Е. А. Позаченюк. – Симферополь : Бизнес-Информ, 2009. – 672 с.
18. *Солнцев Н. А.* Учение о ландшафте : избр. тр. – Москва : Изд-во МГУ, 2001. – 383 с.
19. Структурно-региональный анализ рельефа и ландшафтов : межвуз. сб. науч. тр. / Воронеж. гос. пед. ин-т ; редкол.: Н. С. Бевз [и др.]. – Воронеж : ВГПИ, 1984. – 95 с.

## LANDSCAPES DISTRIBUTION OF THE CRIMEAN PENINSULA BY ABSOLUTE ALTITUDES

**Tabunshchik V. A., Kelip A. A., Andronchik Ya. O.**

*A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, Russian Federation,  
e-mail: [tabunshchik@ya.ru](mailto:tabunshchik@ya.ru)*

In the article quantitative data on the absolute elevation of the relief within the taxonomic units of the landscapes of the Crimean Peninsula are provided. It was found that in a number of works of the early years, incomplete and scattered data on the absolute altitudes of the landscapes of the Crimean Peninsula are given. It is established that the value of the absolute altitudes of the relief is a factor that has a great influence on the differentiation of the landscape sphere of the Crimean Peninsula at high taxonomic units and gradually, the influence of this factor is smoothed out when allocating smaller taxonomic units.

**Keywords:** landscape, the Crimean Peninsula, relief, absolute altitudes, factor.

### Сведения об авторах

Табунщик Владимир Александрович	младший научный сотрудник ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского РАН», <a href="mailto:tabunshchik@ya.ru">tabunshchik@ya.ru</a>
Келип Андрей Алексеевич	младший научный сотрудник ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского РАН», <a href="mailto:kelip@ibss-ras.ru">kelip@ibss-ras.ru</a>
Андрончик Ярослав Олегович	заместитель директора по административно-хозяйственной деятельности ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского РАН», <a href="mailto:zamfin@ibss-ras.ru">zamfin@ibss-ras.ru</a>

*Поступила в редакцию 10.08.2021 г.  
Принята к публикации 11.10.2021 г.*

---

**ИСТОРИЧЕСКИЕ, АРХЕОЛОГИЧЕСКИЕ  
И ИСКУССТВОВЕДЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ**

---

УДК [910.4:55](479)”18”

**ЭКСПЕДИЦИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КАВКАЗА (КОНЕЦ XIX в.)  
ПОД РУКОВОДСТВОМ А. А. ИНОСТРАНЦЕВА**

**Керимов И. А.<sup>1</sup>, Гагаева З. Ш.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Институт истории естествознания и техники им. С. И. Вавилова РАН, г. Москва,  
Российская Федерация,*

*e-mail: [ibragim\\_kerimov@mail.ru](mailto:ibragim_kerimov@mail.ru)*

<sup>2</sup>*Чеченский государственный университет им. А. А. Кадырова, г. Грозный, Российская Федерация,*

*e-mail: [zsh\\_gagaeva@mail.ru](mailto:zsh_gagaeva@mail.ru)*

Работа посвящена аналитическому обзору экспедиционных исследований (геологических и гидрологических), которые проводились на Кавказе под руководством А. А. Иностранцева в 90-е годы XIX в. Обобщены результаты геологических исследований конца XIX в., проводившихся в связи с инженерными работами по строительству железной дороги Владикавказ — Тифлис. Рассмотрены результаты изысканий геологических партий, сформированных для трёх ключевых участков проводимой железнодорожной линии и тоннельных работ. За время проведения исследований был собран обширный фактический материал по геологии исследуемой территории, послуживший основой для развития петрографии. Показано, что кавказские геологические исследования сыграли заметную роль и оказали влияние на развитие геологии в России и мире. Отмечено, что гидрогеологические исследования под руководством А. А. Иностранцева позволили решить важный для региона вопрос водоснабжения.

**Ключевые слова:** Кавказ, А. А. Иностранцев, Ф. Ю. Левинсон-Лессинг, геология, гидрогеология, тектоника, петрография, изыскания.

### **Введение**

Геологические исследования Кавказа заметно активизировались в конце XIX в. Результатом исследований стали содержательные сведения о минеральных ресурсах Кавказа, о развитых здесь свитах, возрасте пород и пр. Большим вкладом в изучение Кавказа стали экспедиционные исследования, проведённые в конце XIX в. под руководством Александра Александровича Иностранцева (1843–1919) — выдающегося русского геолога, естествоиспытателя, профессора Санкт-Петербургского университета, члена-корреспондента Академии наук. Вместе с ним в исследованиях принимали участие Ф. Ю. Левинсон-Лессинг (1861–1939), Н. И. Каракаш (1862–1916) и др. Геологические исследования должны были сопровождать инженерные изыскания при строительстве железнодорожной линии и предстоящих тоннельных работах. Был востребован потенциал учёных для научного решения проблемы в хозяйственно-экономической сфере. Также под руководством А. А. Иностранцева были проведены и гидрогеологические исследования для изучения вопросов водоснабжения степей западной части северного склона Главного Кавказского хребта. И геологические, и гидрогеологические исследования были инициированы соответствующими государственными органами и направлены на развитие хозяйственно-экономической сферы России.

## Материалы и методы

Материалами для настоящей работы послужили литературные источники и архивные данные. Исследования проводились на основе применения методов аналитического и ретроспективного анализа.

## Результаты и обсуждение

Геологические изыскания проводились для «выработки проекта проведения железной дороги через Главный Кавказский Хребет по направлению Владикавказ — Тифлис через Архотский перевал» [Через главный Кавказский ... , 1896]. Экспедиционные исследования на Кавказе под руководством А. А. Иностранцева (как на Урале и Алтае) внесли заметный вклад в развитие региональной геологии и геологической науки в целом.

В 1890 г. Управление казённых железных дорог на Кавказе обратилось к А. А. Иностранцеву с предложением организовать «геологические исследования по предполагаемому пути железнодорожной линии, имея главным образом в виду выяснение вопроса о характере грунтов, о строительных материалах, о предстоящих тоннельных работах и т. п.» [Через главный Кавказский ... , 1896]. А. А. Иностранцев дал согласие и, в связи с большим объёмом предстоящих работ, пригласил других геологов: Н. И. Каракаша (для исследования северного участка трассы), С. И. Стрешевского (перевального участка), Ф. Ю. Левинсон-Лессинга (южного участка). Предполагалось, что работы продлятся 2 года. За это время экспедиция должна была: дать геологическое описание трассы (протяжённостью 169–192 км), выяснить геологические взаимоотношения между комплексами пород, составить детальный профиль, провести петрографические описания горных пород и т. д. [Через главный Кавказский ... , 1896]. В своё время большое внимание вопросам геологических исследований и трудностям тоннельных работ в горных районах уделял известный геолог Г. В. Аби́х (1806–1886) [Аби́х, 1873]. Исследования по этой тематике отражены также в работах ряда авторов [История Юго-Осетии ... , 1960; Кавказская перевальная ... , 1947; Кортиев, 2000].

Приведём краткие сведения об основных участниках кавказских экспедиций.

Сведения о биографии и научно-исследовательской деятельности А. А. Иностранцева отражены в ряде работ [Арджеванидзе, 1954; Аркадьев, Гатаулина, Тихонов, 2014; Франц Юльевич Левинсон-Лессинг, 1941; Вопросы геологии ... , 1994; Гатаулина, Аркадьев, 2009; Транскавказская перевальная ... , 1979; Иностранцев, 1998; Иностранцев, О возрасте ... , 1895; Левинсон-Лессинг, 1919; Леман, 1917; А. А. Иностранцев // Музей ... ; Люди русской ... , 1962; Прозоровский, Тихонов, 1995; Профессор Санкт-Петербургского ... , 2014; Речь академика ... , 1924; Соколов, 1981; Тихомиров, Воскресенская, 1962; Цулукидзе, 1874]. Самые подробные сведения о нём имеются в его личных воспоминаниях [Иностранцев, 1998].

**Александр Александрович Иностранцев** родился 12 (24) июля 1843 г. в селении Фарфоровое (под Петербургом) в семье военного. В 1855 г. он поступил во Вторую Санкт-Петербургскую гимназию. После окончания гимназии в 1863 г. поступил на физико-математический факультет Санкт-Петербургского университета, который окончил в 1867 г. по специальности «геология и минералогия», защитил магистерскую диссертацию («Петрографический очерк острова Валаам»). Именно в магистерской диссертации А. А. Иностранцев и применил впервые поляризационный микроскоп для исследования горных пород, что дало толчок развитию петрографии в России уже на новом уровне [Люди русской ... , 1962; Соколов, 1981]. В 1868 г. А. А. Иностранцев был назначен штатным хранителем минералогического кабинета Санкт-Петербургского университета, а после создания геологического кабинета был переведён

на должность штатного хранителя этого подразделения. В 1869 г. он получил звание магистра. В 1870 г. А. А. Иностранцев начал чтение лекций в качестве приват-доцента, затем — доцента физико-математического факультета Санкт-Петербургского университета. В 1873 г. А. А. Иностранцев защитил докторскую диссертацию («Геологическое исследование на севере России в 1869 и 1870 гг.») и был назначен экстраординарным профессором кафедры геологии и палеонтологии, с 1880 по 1895 г. работал в должности ординарного профессора кафедры геологии и минералогии Санкт-Петербургского университета [Иностранцев, 1998; Люди русской ... , 1962; Соколов, 1981]. С 1889 по 1910 г. А. А. Иностранцев работал в Санкт-Петербургском университете в должности приват-доцента, уже будучи всемирно известным учёным, с 1892 по 1902 г. совмещал должности профессора и декана в Императорском Юрьевском университете (ныне Тартуский университет). В 1902 г. он был приглашён на должность профессора и заведующего кафедрой технической минералогии во вновь открывшемся Политехническом институте, в 1901 г. — избран членом-корреспондентом Императорской Санкт-Петербургской академии наук по разряду физическому [Иностранцев, 1998; Канцелярия конференции АН. Об избрании ... ]. А. А. Иностранцев проработал на кафедре Санкт-Петербургского университета 49 лет (до своей кончины). Некоторые сведения об Александре Александровиче сохранились в архивных источниках [А. А. Иностранцев, 1883; Канцелярия конференции АН. Об избрании ... ].



**Рис. 1.** А. А. Иностранцев (1843–1919)

А. А. Иностранцев был человеком чрезвычайно эрудированным и с широким кругозором. Он считается одним из создателей геологической школы в России. Именно А. А. Иностранцев впервые в России использовал поляризационный микроскоп для изучения горных пород [Соколов, 1981]. Под его руководством были сформулированы принципы мировой стратиграфической школы, которыми сегодня руководствуются во всём мире [Вопросы геологии ... , 1994]. Его полевые, в первую очередь геологические исследования охватывали многие регионы: побережье Ладожского озера, Карелию, Крым, Донбасс, Кавказ, Урал, Алтай [Арджеванидзе, 1954;

Аркадьев, Гатаулина, Тихонов, 2014; Вопросы геологии ... , 1994; Гатаулина, Аркадьев, 2009]. Он является автором ряда работ по петрографии, минералогии, метаморфизму, стратиграфии, палеонтологии, гидрогеологии горных пород, исследованию геологического строения европейского севера России. «Иностранцев принадлежал к тому исчезающему типу учёных, работающих во всех областях геологии, обнимающих, как известно, различные научные дисциплины... что... доступно лишь очень крупным дарованиям...» — так говорил об А. А. Иностранцеве его современник, академик А. П. Карпинский [Речь академика ... , 1924, с. 20]. Помимо научной деятельности, особое место в жизни учёного занимала работа со студентами. Его лекции были чрезвычайно интересными, Александр Александрович ответственно относился к подготовке учебного процесса и был выдающимся педагогом.

**Николай Иванович Каракаш** — выдающийся русский учёный-естествоиспытатель, один из непосредственных учеников А. А. Иностранцева, привлекался им к работам Геологической части Кабинета Его Императорского Величества при проектировании Транскавказской железной дороги, один из первых исследователей меловой системы Кавказа и Крыма. Кроме геологии и палеонтологии Н. И. Каракаш изучал также полезные ископаемые и оползневые процессы [А. А. Иностранцев // Музей ... ; Тихомиров, Воскресенская, 1962].



Рис. 2. Н. И. Каракаш (1862–1916)

Н. И. Каракаш родился 13 (25) июня 1862 г. в г. Симферополе. Окончил Мелитопольское реальное училище и в 1883 г. поступил на естественное отделение физико-математического факультета Санкт-Петербургского университета. Окончив его в звании кандидата университета в 1887 г., был оставлен на кафедре геологии и в 1889 г. назначен хранителем геологического кабинета [Студенческое дело Н. И. Каракаша; Об оставлении при Университете ... ]. Научную работу Н. И. Каракаш начал с изучения палеонтологии и стратиграфии меловых отложений Крыма, этой теме посвящено большинство его публикаций [Каракаш, 1896; Каракаш, 1897; Комаров, 2015]. В 1888 г. по представлению А. А. Иностранцева был принят в члены Санкт-Петербургского



общества естествоиспытателей. С 1898 г. Н. И. Каракаш как приват-доцент начал читать лекции по палеонтологии в Санкт-Петербургском университете, а с 1911 г. читал курс лекций по геологии. В 1891 г. Н. И. Каракаш выдержал экзамены на степень магистра минералогии и геогнозии, в 1897 г. защитил магистерскую диссертацию «Меловые отложения северного склона Главного Кавказского хребта и их фауна» и опубликовал монографию под таким же названием. В 1907 г. Н. И. Каракаш защитил докторскую диссертацию и опубликовал по теме диссертации монографию «Нижнемеловые отложения Крыма и их фауна» [Н. И. Каракаш — доктор ... ].

Палеонтологические исследования Н. И. Каракаша на северном склоне Главного Кавказского хребта, в долине реки Асса, в 1890–1892 гг., а также исследования в 1895 г. в окрестностях Кисловодска и по долинам рек Малка, Урух, Ардон, Кичмалка позволили ему уточнить стратиграфическую схему меловых отложений и установить возраст чёрных глин как верхнеальбский (нижний мел) [Каракаш, 1896; Каракаш, 1897].

По совету А. А. Иностранцева, Н. И. Каракаш отправился за границу для сравнения имевшихся в его коллекции форм с оригиналами, которые хранились в музеях западноевропейских городов. Результаты сравнения позволили геологу провести работы по систематизации и классификации форм коллекции. Он выделил представителей разных классов, родов, видов. Помимо этого, в коллекции Н. И. Каракаша имелись и не описанные ранее формы. Они получили свои названия в честь А. А. Иностранцева, руководителя работ по строительству железной дороги Ф. Д. Рыздзевского и др.

Именем Н. И. Каракаша названы: вид нижнемеловых двустворчатых моллюсков, виды юрских и меловых брюхоногих моллюсков и другие виды ископаемой фауны. В 1897 г. по результатам исследований Н. И. Каракаш издал монографию «Меловые отложения северного склона Главного Кавказского хребта и их фауна» [Каракаш, 1897].

**Франц Юльевич Левинсон-Лессинг** — русский и советский геолог, один из крупнейших и общепризнанных в России и за рубежом авторитетов в вопросах теории магматических горных пород. Он родился 25 февраля (9 марта) 1861 г. в Санкт-Петербурге. В 1879 г. окончил Третью Санкт-Петербургскую гимназию с серебряной медалью. В мае 1879 г. он поступает на математическое отделение физико-математического факультета Санкт-Петербургского университета и в 1883 г. оканчивает его с предложением остаться при физико-математическом факультете, на кафедре минералогии и геологии. В мае 1888 г. защищает в Санкт-Петербургском университете магистерскую диссертацию на тему «Олонецкая диабазовая формация». С апреля 1889 г. приват-доцент Ф. Ю. Левинсон-Лессинг начинает читать в университете лекции по петрографической минералогии. В январе 1892 г., по рекомендации А. А. Иностранцева, Ф. Ю. Левинсон-Лессинг назначается на должность экстраординарного профессора кафедры минералогии Дерптского университета. В мае 1898 г. в Санкт-Петербургском университете он защищает диссертацию на степень доктора минералогии и геогнозии «Исследование по теоретической петрографии в связи с изучением изверженных пород центрального Кавказа» [Студенческое дело Ф. Ю. Левинсона-Лессинга], а в июле 1898 г. утверждён в должности ординарного профессора Юрьевского университета, в котором с 1893 по 1899 г. исполнял обязанности декана физико-математического факультета [Франц Юльевич Левинсон-Лессинг, 1941; Люди русской ... , 1962].

17 мая 1902 г. Ф. Ю. Левинсон-Лессинг был переведён на должность ординарного профессора кафедры геологии Санкт-Петербургского политехнического института, в 1906 г. избран деканом металлургического факультета, а в 1914 г. — членом-корреспондентом Академии наук и утверждён в звании заслуженного профессора Политехнического института. 19 марта 1919 г. он был избран ректором института. 1 октября 1919 г. был арестован Петроградским ЧК и освобождён от должности ректора 5 ноября 1919 г. В 1925 г. Ф. Ю. Левинсон-Лессинга

избирают действительным членом АН СССР, его труды высоко оценены академиками В. И. Вернадским, А. П. Карпинским, А. Е. Ферсманом. В разные годы он работает директором Геологического музея и Почвенного института им. В. В. Докучаева АН СССР (1925–1929), руководит академическими экспедициями в Закавказье и в Крым. Последние 9 лет своей жизни Ф. Ю. Левинсон-Лессинг работал в созданном им Петрографическом институте АН СССР (1930–1938 гг.), который с 1934 г. носит его имя. Ф. Ю. Левинсон-Лессинг создал первую в стране школу петрографов, его учебник «Петрография» выдержал несколько изданий [Франц Юльевич Левинсон-Лессинг, 1941; Люди русской ... , 1962; Ф. Ю. Левинсон-Лессинг, 1934; Ф. Ю. Левинсон-Лессинг // Арх. РАН].



Рис. 3. Ф. Ю. Левинсон-Лессинг (1861–1939)

Ф. Ю. Левинсон-Лессинг в экспедициях по Кавказу в период 1890–191[?] гг. занимался петрографической обработкой материалов по магматическим породам, которые были описаны им совместно с С. И. Стрешевским. Результаты экспедиционных исследований Ф. Ю. Левинсон-Лессинга легли в основу его докторской диссертации «Исследования по теоретической петрографии в связи с изучением изверженных пород Центрального Кавказа» и были отражены в некоторых публикациях [Левинсон-Лессинг, Вулканы ... , 1913; Левинсон-Лессинг, 1898; Левинсон-Лессинг, 1924; Левинсон-Лессинг, О температуре ... , 1913; Левинсон-Лессинг, 1896; Левинсон-Лессинг, 1904; Левинсон-Лессинг, 1925].

Приведём некоторые результаты кавказских *геологических исследований*, которые легли в основу Отчета, подготовленного А. А. Иностранцевым, Н. И. Каракашем, С. И. Стрешевским, Ф. Ю. Левинсон-Лессингом [Через главный Кавказский ... , 1896].

*Северный участок, исследованный Н. И. Каракашем*, включал долину рек Асса, Сунжа и Камбилеевка (вместе с их притоками) и водоразделы рек (на всей площади, относящейся к северному склону Главного Кавказского хребта и ограниченной с севера долиной р. Сунжа (от ст. Карабулакской), с востока — меридианом 62°45', с запада — долиной р. Терек).

В ходе проведения детального изучения исследовались «... обнажения пород, принимающих участие в строении этой местности» [Через главный Кавказский ... , 1896]. Для этого участка были даны подробные геологические описания местности и горных пород (геологический возраст, распространение, положение слоёв, угол падения пластов, их изогнутость, подверженность физико-химическим процессам и др.). В ходе исследований возникали определённые трудности: «Не сразу удалось разобраться в складчатых структурах, установить разломы и последовательность залегания различных толщ меловых образований. Значительную помощь оказали окаменелые раковины моллюсков и других представителей животного мира, некогда обитавших на дне мелового моря» [Соколов, 1981]. По результатам проведённых детальных исследований на северном склоне Главного Кавказского хребта были даны подробные описания отложений четвертичной, третичной, меловой, юрской и палеозойской системы. Для каждого из перечисленных отложений приведены детальные сведения о характере слагающих пород, территории распространения (с обозначением конкретной местности / населённых пунктов). А. А. Иностранцев отметил малоизученность этой части Кавказа, связав это с отсутствием дорог, удобств для путешественников, а также небезопасностью путешествий.

*Перевальный участок, где исследования проводил С. И. Стрешевский*, включал часть главного хребта, охватывающего долину р. Асса (от впадения в неё справа р. Нельха — северная сторона перевала) и долину Хевсурской Арагвы (при впадении в неё слева р. Гудани — северная сторона перевала); общая протяжённость участка — 35 км [Через главный Кавказский ... , 1896]. На этом участке особый интерес для А. А. Иностранцева представляли возраст развитой здесь толщи сланцев, тектоника Главного Кавказского хребта и условия прохождения тоннеля через Архотский перевал. На основании наличия многочисленных складок и разломов учёный высказал предположение о том, что сланцы рассматриваемой толщи имеют разный возраст. Позже С. И. Стрешевский произвел здесь раскопку, образцы которой были определены как остатки папоротников. Кроме того, в другом обнажении С. И. Стрешевский обнаружил в сланцах интересные цилиндрические тела, напоминающие ортоцератиты. Это давало возможность предположить, что сланцы этого участка образовались в палеозое [Через главный Кавказский ... , 1896].

Исследования показали, что основу перевала составляют чёрные глинистые сланцы и, несмотря на такую протяжённость, в основном отсутствует разнообразие пород, которое было свойственно предыдущему участку. Отмечены характерные особенности северной стороны перевального участка (частые выходы среди сланцев кристаллических пород, состоящих в основном из порфиритов), приведены стратиграфические данные об отдельных обнажениях и сделано заключение о сложности стратиграфии в этих местностях. Исследования позволили выявить общую главную складчатость как для северной, так и для южной сторон перевального участка. Кроме того, оказалось, что сланцевые породы южной стороны участка, подвергающиеся воздействию воды, прекрасно сохраняются, в противоположность сланцам, которые находятся вне воды, но подвергаются большим разрушениям в результате экзогенных процессов. Наблюдения позволили также сделать заключение об отсутствии многолетней мерзлоты, ледников, однако свидетельствовали о наличии следов древнего оледенения.

*Южный участок, где исследования проводил Ф. Ю. Левинсон-Лессинг*, состоял из трёх частей: 1) от Гудани до Ороцхали по Хевсурской Арагве, 2) от Ороцхали до Жинвани по Пшавской Арагве, 3) от Жинвани до Авчала по Белой Арагве; общая протяжённость — 96 км [Через главный Кавказский ... , 1896]. Деление на три части обосновывалось тем, что южный участок

различался как по техническим условиям (наличие теснин, отвесных скал, осыпей, отсутствие удобных площадок и пр.), так и по характеру геологических отложений. Для отдельных участков, например от Ороцхали до Магаро, отмечено отсутствие органических остатков, в связи с чем в геологическом отношении подобные участки представлялись для исследователей малоинтересными. Исследования показали, что геологические особенности территорий обследования характеризуются чрезвычайным разнообразием, вызванным не только эндогенными процессами, но и экзогенными: деятельностью рек, обвалов, осыпей, источников и др. Всё это, безусловно, влияло на прохождение линии (железной дороги). Наиболее безопасным и технически простым был участок, связанный с долиной Белой Арагвы, от Живани до Авчала. Он, по мнению исследователей, предполагал меньше трудностей при строительстве железнодорожных сооружений, несмотря на то что был наиболее разнообразным и интересным в геологическом отношении [Через главный Кавказский ... , 1896]. Встречавшиеся на этом участке крупные глыбы порфириной агломератовой лавы, мандельштейнов, диабазов доставили много хлопот Ф. Ю. Левинсон-Лессингу, исследовавшему их коренные выходы. Не подтвердилось его предположение о том, что эти глыбы — часть имеющихся здесь коренных обнажений. В ходе исследований было сделано детальное описание геологического строения местности. Были выделены стратиграфические особенности южного участка: нарушенность и опрокинутость слоёв, налегание более древних осадков на более молодые, крутое северное падение пластов. В пределах южного участка были выявлены наиболее трудные для строительства железной дороги области.

Важным заданием изучения участков предполагаемого прохождения железнодорожной линии стали *палеонтологические исследования* Н. И. Каракаша. Он собрал коллекцию окаменелостей из меловых отложений северного участка проектируемой железной дороги. В ходе исследований выяснилось, что на перевальном и южном участках Главного Кавказского хребта мало отложений с содержанием ископаемых организмов.

Геологические изыскания под руководством А. А. Иностранцева дали возможность получить также и *географические сведения* об изучаемых территориях. Так, в Отчёте А. А. Иностранцева можно прочесть подробные сведения о рельефе местности — высоте над уровнем моря, форме рельефа, характере расчленённости: «Начиная от станицы Карабулакской, расположенной в широкой долине р. Сунжи, местность к югу понемногу возвышается и уже у хутора Яндырского встречаем северные отроги гор Нек-дукъ, служащих водоразделом между р. Яндыркой и левыми притоками р. Ассы. От станицы Нестеровской, ... местность уже изменяет свой равнинный характер». В этих описаниях встречается большое количество названий населённых пунктов, возвышенностей, хребтов с обозначением их высот, рек и их притоков. Так, в геологических описаниях северного участка Н. И. Каракаш подробно описывает долины рек Асса, Сунжа и Камбилеевка с их притоками и водоразделами, приводит географические координаты местности, орографические сведения, сведения о растительности отдельных участков, почвах, грунтовых водах, слагающих грунты породах; отмечается отсутствие транспортной сети (колёсных дорог) и каких-либо удобств у «... ещё достаточно диких горцев, ...» и пр. [Через главный Кавказский ... , 1896, с. 1]. Сопровождающие описания фотографии местностей дают более широкое представление о горных ландшафтах. Характеризуя перевальный участок, Стрешевский заметил, что некоторые «... склоны во время короткого здешнего лета покрываются чудными альпийскими травами, представляя пастбища, а ниже, около аулов, пахотные поля...» [Через главный Кавказский ... , 1896, с. 35–36]. В своих наблюдениях Ф. Ю. Левинсон-Лессинг отметил чрезвычайную многочисленность и многообразие минеральных источников на протяжении всего исследованного участка (железистых, известковых, углекислых): «Из-под самой скалы бьет сильный родник, разливающийся целым железистым ручейком ... Обилие ключей заслуживает здесь внимания; даже по скалам сочатся многочисленные известковые источники, отлагающие известковый туф» [Через главный Кавказский ... , 1896, с. 59].

Об С. И. Стрешевском известно лишь то, что он был участником кавказских геологических исследований.

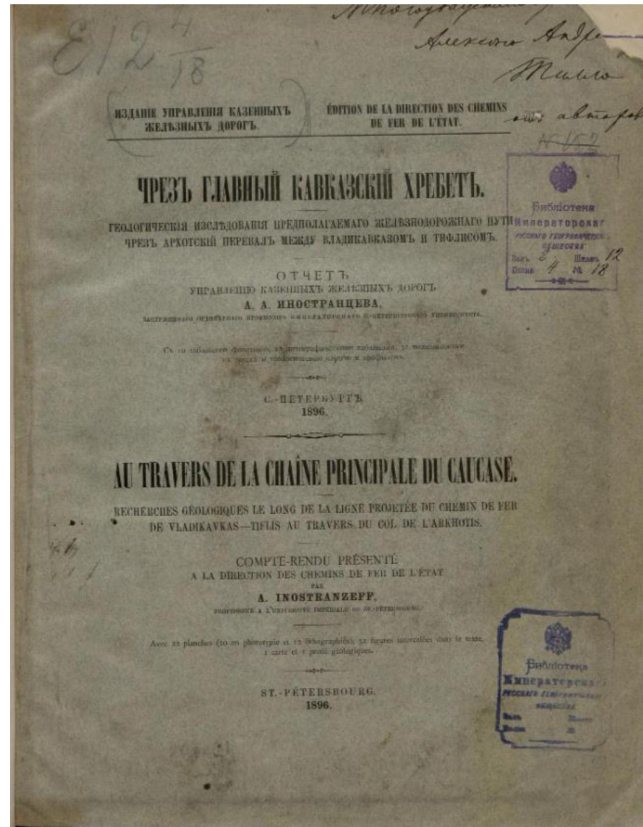


Рис. 4. Титул Отчёта, 1896 [Через главный Кавказский ... , 1896]

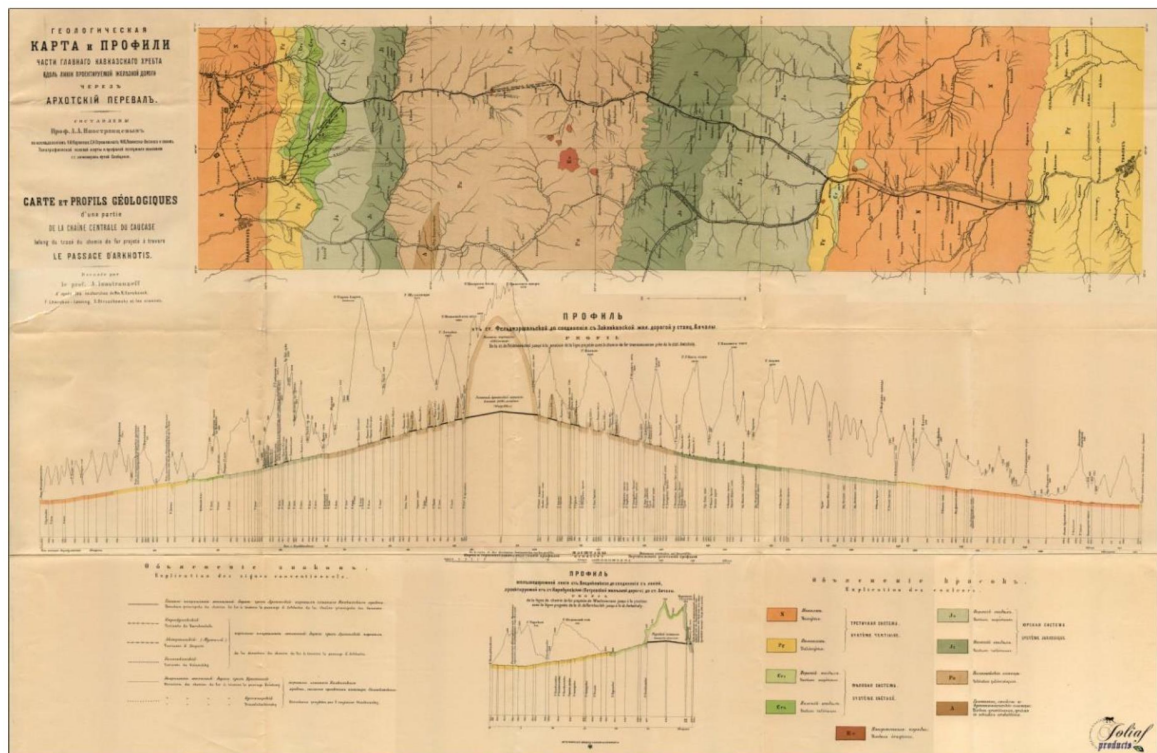


Рис. 5. Геологическая карта и профили части Главного Кавказского хребта вдоль линии проектируемой железной дороги через Архотский перевал [Через главный Кавказский ... , 1896]

### *Гидрогеологические исследования*

А. А. Иностранцев принимал активное участие в разрешении практических задач. Он был известен своими работами и в области гидрогеологии. Одним из важных этапов его научных изысканий в данной области стало изучение минеральных вод на Кавказе.

В 1893 г. Главное управление уделов обратилось к А. А. Иностранцеву с предложением обследовать степи, прилегающие к западной части северного склона Главного Кавказского хребта, с точки зрения их водоснабжения. А. А. Иностранцев, уже посещавший ранее эти районы, отметил, что дефицит питьевой воды является особенностью местности, куда быстро стягивались и поглощались атмосферные осадки, а бурные реки быстро пересыхали. Поэтому остро стоял вопрос о создании надёжных источников воды. Важное место в решении проблемы занимал вопрос о бурении артезианских скважин. А. А. Иностранцев дал согласие поехать в Ставрополье. Необходимо было ответить на вопросы: какие слои могут быть водоносными, какие — водоупорными, как и на какой глубине залегают искомые слои пород [Иностранцев, *Есть ли ...*, 1895; Соколов, 1981].

Были проведены работы по изучению мощности залегающих разновозрастных пород и глубин их залегания, а также водоносных горизонтов в районе исследования (к западу и востоку от р. Кубани). Водоносными породами были признаны меловые песчаники. Однако подсчёт глубины возможного их залегания в местах предполагаемого бурения артезианских скважин составил огромную величину — 1729 м [Соколов, 1981]. Бурить артезианские скважины такой глубины было нецелесообразно. А. А. Иностранцев проводил исследования вместе с Н. И. Каракашем. Результаты наблюдений и расчётов были представлены А. А. Иностранцевым на заседании Общества естествоиспытателей [Иностранцев, *Есть ли ...*, 1895]. А. И. Карпинский, Н. Ф. Чернышев, Н. И. Андрусов, В. В. Докучаев, Н. А. Ососков отметили важность вопроса и признали правильность сделанных А. А. Иностранцевым выводов. Таким образом, бурение артезианских скважин было признано нерентабельным и предстояло искать другие пути решения проблемы водоснабжения в исследуемом районе. Были найдены наиболее оптимальные возможности разрешения проблемы водоснабжения путём создания системы водоканалов [Соколов, 1981].

### *Научное наследие А. А. Иностранцева*

В своё время академик А. И. Карпинский, чья научная деятельность начиналась в одно время с А. А. Иностранцевым, отметил: «Иностранцев принадлежал к тому исчезающему типу учёных, работающих во всех областях геологии, обнимающих, как известно, различные научные дисциплины... что... доступно лишь очень крупным дарованиям» [Речь академика ... , 1924, с. 20].

А. А. Иностранцев оставил после себя большое научное наследие. Его идеи получили дальнейшее развитие в трудах последователей и обогатили отечественную и мировую геологическую науку. Сильное влияние на учёного оказывали посещения международных геологических конгрессов, личное знакомство с выдающимися учёными, обмен мнениями. Это было частью его научной жизни.

Заслуги А. А. Иностранцева в научной, педагогической и научно-организационной деятельности были высоко оценены научной общественностью в России и за рубежом. А. А. Иностранцев был членом-корреспондентом Санкт-Петербургской академии наук, почётным членом многих научных обществ: Петербургского общества естествоиспытателей, Киевского общества естествоиспытателей, Харьковского общества любителей естествознания, Московского общества любителей естествознания, антропологии и географии и др.

Научные заслуги А. А. Иностранцева были отмечены в приветственном обращении Президента Российской академии наук в день его пятидесятилетия государственного служения. Были перечислены многочисленные достижения учёного, в том числе впервые применённый в России микроскопический метод петрографических исследований; научные изыскания, география которых не ограничивалась северными районами страны, проводились и в отдалённых её областях — в Крыму, на Кавказе, Урале, в окрестностях Владивостока и особенно на Алтае, где А. А. Иностранцевым были организованы систематические геологические исследования и съёмки; многолетняя профессорская деятельность и другие достижения [Соколов, 1981].

### Заключение

Результаты геологических изысканий на Кавказе под руководством А. А. Иностранцева явились большим вкладом в развитие геологической науки и стали первой комплексной работой по геологии, петрографии, палеонтологии и тектонике Центрального Кавказа.

Участие в экспедиции на Кавказе стало началом становления её участников как учёных-геологов, а результаты экспедиционных работ легли в основу дальнейших научных исследований в других районах России.

Монографический отчёт «Чрез Главный Кавказский хребет: геологические исследования предполагаемого железнодорожного пути чрез Архотский перевал между Владикавказом и Тифлисом» под ред. А. А. Иностранцева представляет собой классический образец комплексных геологических и географических исследований горных территорий и до сих пор не потерял своей научной ценности.

А. А. Иностранцев стал инициатором программы исследований, в основу которой был положен принцип проведения площадных геологических съёмок, позднее реализованный в масштабах всей страны. Результаты гидрогеологических исследований под руководством А. А. Иностранцева позволили решить проблему водоснабжения в районах с дефицитом воды путём создания системы водоканалов.

Ф. Ю. Левинсон-Лессинг и Н. И. Каракаш как ученики и последователи А. А. Иностранцева внесли значительный вклад в дальнейшее изучение Кавказа, а также в развитие отдельных направлений в геологии. Так, Ф. Ю. Левинсон-Лессинг сыграл большую роль в развитии петрографии. Его перу принадлежат работы, посвящённые изучению вулканов и лав Центрального Кавказа, теоретической петрографии и петрографическим исследованиям на Центральном Кавказе. Результаты работ исследователя были опубликованы в виде монографий, очерков и статей.

Исследования Н. И. Каракаша на Кавказе позволили уточнить стратиграфическую схему меловых отложений на склонах Главного Кавказского хребта и собрать сведения о фауне этой части Кавказа. Подобные исследования были проведены им и в Крыму. Результаты геологических исследований Н. И. Каракаша опубликованы в виде монографий и других публикаций.

### Список литературы

1. А. А. Иностранцев : формуляр. список, 1883 // РГВИА. Ф. 316. Оп. 48. Д. 131.
2. А. А. Иностранцев // Музей истории СПбГУ. Ф. 90, 108 (Личный фонд). Разд. «Персоналия».
3. Абиx Г. В. Доклад о геологических исследованиях и трудностях прорытия тоннеля в районе Крестового и Буслачирского (Квенамтского) перевалов // Записки Кавказского отделения Русского технического общества. – Тифлис : в Тип. Глав. упр. наместника Кавказского, 1873. – Т. 5.

4. *Арджеванидзе И. А.* Военно-Грузинская дорога. – Тбилиси : Госиздат Груз. ССР, 1954. – 251 с.
5. *Аркадьев В. В., Гатаулина Г. М., Тихонов И. Л.* Профессор А. А. Иностранцев и его деятельность в протоколах заседаний Совета Императорского Санкт-Петербургского университета // Вестник Санкт-Петербургского университета. Сер. 7, Геология. География. – 2014. – № 1. – С. 62–77.
6. Вопросы геологии и археологии : тез. докл. междунар. симп., посвящ. ... А. А. Иностранцева (1843–1919) / ред. В. А. Прозоровский [и др.]. – Санкт-Петербург : Изд-во С.-Петерб. гос. ун-та, 1994. – 100 с.
7. *Гатаулина Г. М., Аркадьев В. В.* Александр Александрович Иностранцев (1843–1919) // Научная конференция, посвящённая памяти члена-корреспондента Петербургской академии наук, основателя кафедры геологии, геологического музея и геологического кабинета, профессора Санкт-Петербургского университета Александра Александровича Иностранцева (1843–1919) / Геол. фак. С.-Петерб. гос. ун-та [и др.] ; под ред. В. В. Аркадьева. – Санкт-Петербург : СПбГУ, 2009. – С. 4–7.
8. *Иностранцев А. А.* Воспоминания : автобиография. – Санкт-Петербург : Петербург. Востоковедение, 1998. – 272 с.
9. *Иностранцев А. А.* Есть ли возможность в степях, прилегающих к северному склону западной части Кавказского хребта, найти артезианскую воду // Труды Санкт-Петербургского общества естествоиспытателей. – 1895. – Т. 23. – С. 9–14.
10. *Иностранцев А. А.* О возрасте сланцев главного Кавказского хребта // Труды Санкт-Петербургского общества естествоиспытателей. – 1895. – Т. 23. – С. 35–36.
11. История Юго-Осетии в документах и материалах. Т. 2. 1800–1864 гг. / Юго-Осет. науч.-исслед. ин-т Акад. наук Груз. ССР ; сост. И. Н. Цховребов. – Сталинири : Госиздат Юго-Осетии, 1960. – С. 64.
12. Кавказская перевальная железная дорога. Проектное задание электрической железнодорожной линии Дарг — Кох — Гори / СВД СССР, Гл. упр. ж.-д. строительства ГУЖДС, Упр. по изысканиям и проектированию ж.-д. линий «Желдорпроект», Ленингр. отд-ние. – Ленинград, 1947. – 493 с.
13. Канцелярия конференции АН. Об избрании почетных членов и членов-корреспондентов // Арх. РАН. С.-Петерб. фил. Ф. 1 (А. А. Иностранцев). Оп. 1-1918. Д. 13. Л. 11.
14. *Каракаш Н. И.* Геологические наблюдения по долинам рек Уруха, Ардона, Малки, Кичмалки и в окрестностях Кисловодска // Труды Санкт-Петербургского общества естествоиспытателей. – 1896. – Т. 24. – С. 1–28.
15. *Каракаш Н. И.* Меловые отложения северного склона Главного Кавказского хребта и их фауна. – Санкт-Петербург : тип. М. М. Стасюлевича, 1897. – 205 с.
16. *Комаров В. Н.* Николай Иванович Каракаш — выдающийся учёный-естествоиспытатель // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. – 2015. – № 5. – С. 79–82. – <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2015-5-79-82>
17. *Кортиев Л. И.* Транскавказская автомагистраль. – Владикавказ : Ирыстон, 2000. – 332 с.
18. *Левинсон-Лессинг Ф.* Вулканы и лавы Центрального Кавказа // Известия С.-Петербургского политехнического института Императора Петра Великого. – 1913. – Т. 20, вып. 1. – С. 193–288 ; т. 20, вып. 2. – С. 491–526.
19. *Левинсон-Лессинг Ф. Ю.* Александр Александрович Иностранцев (некролог) // Известия Геологического комитета. – 1919. – Т. 38, № 4/7.
20. *Левинсон-Лессинг Ф. Ю.* Исследования по теоретической петрографии в связи с изучением изверженных пород Центрального Кавказа. – Юрьев : тип. К. Матисена, 1898. – 404 с.



21. Левинсон-Лессинг Ф. Ю. О работах А. А. Иностранцева в области петрографии // Труды Ленинградского общества естествоиспытателей. – 1924. – Т. 39, вып. 4. – С. 23.
22. Левинсон-Лессинг Ф. О температуре в проектируемом 22-верстном тоннеле под Архотским перевалом на Кавказе // Известия С.-Петербургского политехнического института Императора Петра Великого. – 1913. – Т. 20, вып. 1. – С. 1–10.
23. Левинсон-Лессинг Ф. Ю. Петрографические исследования в центральной части Кавказского хребта. – Санкт-Петербург : тип. М. Стасюлевича, 1896. – 38 с.
24. Левинсон-Лессинг Ф. Ю. Петрографические исследования в Центральном Кавказе. (Горная Осетия, Дигория и Балкария) // Известия С.-Петербургского политехнического института. – 1904. – Т. 2, вып. 3/4. – С. 97–135.
25. Левинсон-Лессинг Ф. Ю. Петрография. – Ленинград : Научхимтехиздат, 1925. – 395 с.
26. Леман В. Хроника // Ежегодник Русского палеонтологического общества. – 1917. – Т. 1. – С. 104.
27. Люди русской науки. Очерки о выдающихся деятелях естествознания и техники. Вып. 2. Геология, география / под ред. И. В. Кузнецова. – Москва : Физматгиз, 1962. – 580 с.
28. Н. И. Каракаш — доктор минералогии и геогнозии // ЦГА Москвы. Ф. 418. Оп. 86. Д. 252.
29. Об оставлении при Университете кандидата Н. Каракаша, 1 янв. 1888 г. // ЦГИА Спб. Ф. 14. Оп. 1. Д. 8878.
30. Прозоровский В. А., Тихонов И. Л. Профессор А. А. Иностранцев // Вестник Санкт-Петербургского университета. Сер. 7, Геология. География. – 1995. – № 3. – С. 3–9.
31. Профессор Санкт-Петербургского университета А. А. Иностранцев / С.-Петерб. гос. ун-т ; подгот. текста В. В. Аркадьева. – Санкт-Петербург : Супервэйв Групп, 2014. – 352 с.
32. Речь академика А. П. Карпинского // Труды Ленинградского общества естествоиспытателей. – 1924. – Т. 39, вып. 4. – С. 20.
33. Соколов В. А. Александр Александрович Иностранцев, 1843–1919. – Москва : Наука, 1981. – 104 с.
34. Студенческое дело Н. И. Каракаша // ЦГИА Спб. Ф. 14. Оп. 5. Д. 2517.
35. Студенческое дело Ф. Ю. Левинсона-Лессинга // ЦГИА Спб. Ф. 14. Оп. 3. Д. 20741.
36. Тихомиров В. В., Воскресенская Н. А. Памятные даты на апрель — июнь 1962 г. Обзор. 100 лет со дня рождения стратиграфа-палеонтолога Н. И. Каракаша // Советская геология. – 1962. – № 4. – С. 131–132.
37. Транскавказская перевальная дорога / Северо-Осетин. науч.-исслед. ин-т ; Гусалов И. А. [и др.]. – Орджоникидзе, 1979. – 501 с. – На правах рукоп.
38. Ф. Ю. Левинсон-Лессинг : биограф. сведения, 1934 // ГАРФ. Ф. Р-4737. Оп. 2. Д. 1467.
39. Ф. Ю. Левинсон-Лессинг // Арх. РАН. Ф. 347 (Личный фонд). Ед. хр. 462.
40. Франц Юльевич Левинсон-Лессинг (1861–1939) / сост.: Н. М. Асафова, О. В. Исакова. – Москва : Изд-во Всесоюз. кн. палаты, 1941. – 52 с.
41. Цулукидзе Г. Г. Инженерно-геологическое обследование Рокского перевала и выходов из него в целях рек Лиахва и Нары-дон // Записки Кавказского отделения Русского технического общества. – Тифлис : в Тип. Глав. упр. наместника Кавказского, 1874. – Т. 6.
42. Чрез главный Кавказский хребет : геол. исслед. предполагаемого ж.-д. пути через Архот. перевал между Владикавказом и Тифлисом : отчёт упр.[авляющего] казен. ж. д. А. А. Иностранцева. – Санкт-Петербург : Упр. казен. ж. д., 1896. – 250 с.

## EXPEDITIONAL RESEARCHES OF THE CAUCASUS (LATE 19<sup>th</sup> CENTURY) UNDER THE LEADERSHIP OF A. INOSTRANTSEV

Kerimov I. A.<sup>1</sup> Gagaeva Z. Sh.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*S. Vavilov Institute for the History of Science and Technology, RAS, Moscow, Russian Federation,  
e-mail: [ibragim\\_kerimov@mail.ru](mailto:ibragim_kerimov@mail.ru)*

<sup>2</sup>*A. Kadyrov Chechen State University, Grozny, Russian Federation,  
e-mail: [zsh\\_gagaeva@mail.ru](mailto:zsh_gagaeva@mail.ru)*

The work is devoted to an analytical review of expeditionary research (geological and hydrological), which were carried out in the Caucasus under the leadership of A. A. Inostrantsev in the 90s of the 19th century. The results of geological studies at the end of the 19th century, carried out in connection with engineering work on the construction of the Vladikavkaz — Tiflis railway, are generalized. The results of surveys of geological parties formed for three key sections of the railway line and the upcoming tunneling works are considered. During the research, factual material was collected on the geology of the study area, which served for the development of petrography. It is shown that the Caucasian geological research has played a significant role and influenced the development of geology in Russia and the world. It is noted that hydrogeological research under the guidance of A. A. Inostrantsev helped to solve an important issue of water supply for the region.

**Keywords:** Caucasus, A. A. Inostrantsev, F. Yu. Levinson-Lessing, geology, hydrogeology, tectonics, petrography, research

### Сведения об авторах

Керимов Ибрагим Ахмедович — доктор физико-математических наук, профессор, главный научный сотрудник ФГБУН «Институт истории естествознания и техники им. С. И. Вавилова», [ibragim\\_kerimov@mail.ru](mailto:ibragim_kerimov@mail.ru)

Гагаева Зульфира Шерпаевна — кандидат географических наук, доцент кафедры экологии и природопользования ФГБОУВО «Чеченский государственный университет имени А. А. Кадырова», [zsh\\_gagaeva@mail.ru](mailto:zsh_gagaeva@mail.ru)

*Поступила в редакцию 29.09.2021 г.*

*Принята к публикации 10.11.2021 г.*

**Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Федеральный исследовательский центр  
«ИНСТИТУТ БИОЛОГИИ ЮЖНЫХ МОРЕЙ имени А.О. КОВАЛЕВСКОГО РАН»  
КАРАДАГСКАЯ НАУЧНАЯ СТАНЦИЯ им. Т.И.ВЯЗЕМСКОГО –  
ПРИРОДНЫЙ ЗАПОВЕДНИК РАН**

# **ТРУДЫ КАРАДАГСКОЙ НАУЧНОЙ СТАНЦИИ им. Т.И. ВЯЗЕМСКОГО – ПРИРОДНОГО ЗАПОВЕДНИКА РАН**

**Основан в мае 2016 г.**

**Основатель журнала –  
ФГБУН «Карадагская научная станция им. Т.И.Вяземского –  
природный заповедник РАН»**

**Научное издание**

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи,  
информационных технологий и массовых коммуникаций

**Свидетельство о регистрации средства массовой информации  
Сер. ПИ № ФС77-76870 от 11 октября 2019 г.**

Утверждено к печати научно-техническим советом Карадагской научной станция им.  
Т.И.Вяземского – природного заповедника РАН – филиалом Федерального государственного  
бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Институт биологии  
южных морей имени А.О. Ковалевского РАН»  
(протокол № 5 от 22.11.2021 г.)

Главный редактор: Р. В. Горбунов, канд. геогр. наук  
Заместитель главного редактора: В. И. Мальцев, канд. биол. наук  
Технические редакторы: Т. Ю. Горбунова, канд. геогр. наук, О. А. Миронюк

Подписано к печати: 24.11.2021 г.

Дата выхода: 29.11.2021 г.

Формат 60x84/8 Усл. печ. л. 10,9 Тираж: 100 экз.

Распространяется бесплатно.

Отпечатано в типографии: ИП Ермолов М. П., ОГРНИП 314920436710081 от 26.12.2014;  
ул. Кулакова, д. 59, г. Севастополь, 299011;  
тел.: +7 978 70-45-111; e-mail: print-e@yandex.ru

ISSN 2712-9586



9 772712 958009 >