

**Научный журнал**

Учредитель и издатель:

ФГБУН Институт морской геологии и геофизики  
Дальневосточного отделения  
Российской академии наук

Издается с января 2017 г.

Периодичность издания 4 раза в год

**Scientific journal**

Founder and Publisher:

Institute of Marine Geology and Geophysics  
of the Far Eastern Branch  
of the Russian Academy of Sciences

Published since January 2017

Periodicity: Quarterly

**Основная задача журнала** – информирование научной общественности, российской и зарубежной, о результатах изучения геосистем переходных зон Земли и связанных с ними проблем геофизики, геологии, геодинамики, сейсмологии, геоэкологии и других наук.

**The main objective of the journal** is informing of scientific community, Russian and foreign, about the results of researches in geosystems of the Earth's transition zones and related problems of geophysics, geology, geodynamics, seismology, geoecology and other sciences.

Журнал:

- индексируется в **Российском индексе научного цитирования (РИНЦ)**;
- регистрируется в системе **CrossRef**. Научным публикациям присваивается идентификатор – DOI;
- включен в каталог **Ulrich's Periodicals Directory**;
- включен в международную базу научных журналов открытого доступа – **Directory of Open Access Journals (DOAJ)**;
- входит в **Перечень ВАК** – Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, доктора наук по следующим научным специальностям и соответствующим им отраслям науки: :

- 1.6.1. Общая и региональная геология. Геотектоника и геодинамика (*геолого-минералогические*)
- 1.6.3. Петрология, вулканология (*геолого-минералогические*)
- 1.6.9. Геофизика (*геолого-минералогические; физико-математические*)
- 1.6.14. Геоморфология и палеогеография (*географические*)
- 1.6.17. Океанология (*географические; геолого-минералогические; физико-математические*)
- 1.6.20. Геоинформатика, картография (*физико-математические*)
- 1.6.21. Геоэкология (*географические; геолого-минералогические*)
- 1.5.15. Экология (*биологические*)
- 1.1.8. Механика деформируемого твердого тела (*технические; физико-математические*)
- отнесен в Перечне ВАК к журналам II квартиля (K2).

The Journal is:

- indexed in **Russian Science Citation Index (RISC)**;
  - registered in the **CrossRef** system. Scientific publications are assigned an individual identifier DOI;
  - included in the **Ulrich's Periodicals Directory** database;
  - included in the **Directory of Open Access Journals (DOAJ)**;
  - included in the **VAK List** – the List of peer reviewed scientific journals, in which main scientific results of dissertations for the Candidate of Sciences and Doctor of Sciences degrees in the following scientific specialties and corresponding branches of science should be published:
- 1.6.1. General and regional geology. Geotectonics and geodynamics (*Geology and Mineralogy*)
  - 1.6.3. Petrology and volcanology (*Geology and Mineralogy*)
  - 1.6.9. Geophysics (*Geology and Mineralogy; Physics and Mathematics*)
  - 1.6.14. Geomorphology and Paleogeography (*Geography*)
  - 1.6.17. Oceanology (*Geography; Geology and Mineralogy; Physics and Mathematics*)
  - 1.6.20. Geoinformatics and cartography (*Physics and Mathematics*)
  - 1.6.21. Geoecology (*Geography; Geology and Mineralogy*)
  - 1.5.15. Ecology (*Biology*)
  - 1.1.8. Mechanics of deformable solids (*Physics and Mathematics; Engineering*)
  - it is assigned to the K2 quartile in the VAK list.

Адрес учредителя и издателя

ИМГиГ ДВО РАН  
ул. Науки, 16, Южно-Сахалинск, 693022  
Тел./факс: (4242) 791517  
E-mail: [gtrz-journal@mail.ru](mailto:gtrz-journal@mail.ru)  
Сайт: <http://journal.imgg.ru>

Postal address

IMGG FEB RAS  
1B, Nauki Str., Yuzhno-Sakhalinsk, 693022  
Tel. / Fax: (4242) 791517  
E-mail: [gtrz-journal@mail.ru](mailto:gtrz-journal@mail.ru)  
Website: <http://journal.imgg.ru>

© ИМГиГ ДВО РАН, 2023

**Редакционная коллегия***Главный редактор*

**Завьялов Петр Олегович**, член-корреспондент РАН, д-р геогр. наук, заместитель директора, руководитель лаборатории взаимодействия океана с водами суши и антропогенных процессов, Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва

*Заместитель главного редактора*

**Богомолов Леонид Михайлович**, д-р физ.-мат. наук, директор, Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск

*Ответственный секретарь*

**Прытков Александр Сергеевич**, канд. физ.-мат. наук, Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск

- **Адушкин Виталий Васильевич**, академик РАН, д-р физ.-мат. наук, Институт динамики геосфер РАН; Московский физико-технический институт, Москва
- **Алексанин Анатолий Иванович**, д-р техн. наук, Институт автоматизации и процессов управления ДВО РАН, Владивосток
- **Быков Виктор Геннадьевич**, д-р физ.-мат. наук, Институт тектоники и геофизики им. Ю.А. Косыгина ДВО РАН, Хабаровск
- **Закупин Александр Сергеевич**, канд. физ.-мат. наук, Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск – *зам. главного редактора*
- **Ковалев Дмитрий Петрович**, д-р физ.-мат. наук, Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск
- **Кочарян Геворг Грантович**, д-р физ.-мат. наук, профессор, Институт динамики геосфер РАН, Москва
- **Куркин Андрей Александрович**, д-р физ.-мат. наук, профессор, Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, Нижний Новгород
- **Лабай Вячеслав Степанович**, д-р биол. наук, Сахалинский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии, Южно-Сахалинск
- **Левин Владимир Алексеевич**, академик РАН, д-р физ.-мат. наук, профессор, Институт автоматизации и процессов управления ДВО РАН, Владивосток; Институт механики МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва
- **Лучин Владимир Александрович**, д-р геогр. наук, Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, Владивосток
- **Марапупец Юрий Валентинович**, д-р физ.-мат. наук, доцент, Институт космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН, Камчатский край, Паратунка
- **Огородов Станислав Анатольевич**, профессор РАН, д-р геогр. наук, чл.-корр. РАН, МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва
- **Плехов Олег Анатольевич**, чл.-корр. РАН, д-р физ.-мат. наук, профессор, Институт механики сплошных сред УрО РАН, Пермь
- **Разжигаяева Надежда Глебовна**, д-р геогр. наук, Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, Владивосток
- **Ребetsкий Юрий Леонидович**, д-р физ.-мат. наук, Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, Москва
- **Родкин Михаил Владимирович**, д-р физ.-мат. наук, Международный институт теории прогноза землетрясений и математической геофизики РАН, Москва
- **Рыбин Анатолий Кузьмич**, д-р физ.-мат. наук, Научная станция РАН в г. Бишкеке, Бишкек, Киргизия
- **Сасорова Елена Васильевна**, д-р физ.-мат. наук, Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва

**Editorial Board***Editor-in-Chief*

**Peter O. Zav'yalov**, Corr. Member of the RAS, Dr. Sci. (Geography), Deputy Director, Head of the Laboratory of land-ocean interactions and the anthropogenic impact, P.P. Shirshov Institute of Oceanology of RAS, Moscow, Russia

*Deputy Editor-in-Chief*

**Leonid M. Bogomolov**, Dr. Sci. (Phys. and Math.), Director, Institute of Marine Geology and Geophysics of the FEB RAS, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia

*Executive Secretary*

**Alexander S. Prytkov**, Cand. Sci. (Phys. and Math.), Institute of Marine Geology and Geophysics of the FEB RAS, Yuzhno-Sakhalinsk

- **Vitaly V. Adushkin**, Academician of RAS, Dr. Sci. (Phys. and Math.), Institute of Geosphere Dynamics of RAS; Moscow Institute of Physics and Technology, Moscow
- **Anatoly I. Alexanin**, Dr. Sci. (Eng.), The Institute of Automation and Control Processes of the FEB RAS, Vladivostok
- **Victor G. Bykov**, Dr. Sci. (Phys. and Math.), Yu.A. Kosygin Institute of Tectonics and Geophysics of the FEB RAS, Khabarovsk
- **Alexander S. Zakupin**, Cand. Sci. (Phys. and Math.), Institute of Marine Geology and Geophysics of the FEB RAS, Yuzhno-Sakhalinsk – *Deputy Editor-in-Chief*
- **Dmitry P. Kovalev**, Dr. Sci. (Phys. and Math.), Institute of Marine Geology and Geophysics of the FEB RAS, Yuzhno-Sakhalinsk
- **Gevorg G. Kocharyan**, Dr. Sci. (Phys. and Math.), Professor, Institute of Geosphere Dynamics of RAS, Moscow
- **Andrei A. Kurkin**, Dr. Sci. (Phys. and Math.), Professor, Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev, Nizhniy Novgorod
- **Vyacheslav S. Labay**, Dr. Sci. (Biology), Sakhalin Branch of the Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography, Yuzhno-Sakhalinsk
- **Vladimir A. Levin**, Academician of RAS, Dr. Sci. (Phys. and Math.), Professor, Institute of Automation and Control Processes of the FEB RAS, Vladivostok; Lomonosov Moscow State University, Moscow
- **Vladimir A. Luchin**, Dr. Sci. (Geogr.), V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute of the FEB RAS, Vladivostok
- **Yuri V. Marapulets**, Dr. Sci. (Phys. and Math.), Associate Professor, Institute of Cosmophysical Research and Radio Wave Propagation of the FEB RAS, Kamchatka Region
- **Stanislav A. Ogorodov**, Professor of RAS, Dr. Sci. (Geogr.), Corr. Member of RAES, Lomonosov Moscow State University, Moscow
- **Oleg A. Plekhov**, Corr. Member of RAS, Dr. Sci. (Phys. and Math.), Professor, Institute of Continuous Media Mechanics of the Ural Branch of RAS, Perm'
- **Nadezhda G. Razjigaeva**, Dr. Sci. (Geogr.), Pacific Institute of Geography of the Far Eastern Branch of RAS, Vladivostok
- **Yuri L. Rebetskiy**, Dr. Sci. (Phys. and Math.), Schmidt Institute of Physics of the Earth of RAS, Moscow
- **Mikhail V. Rodkin**, Dr. Sci. (Phys. and Math.), Institute of Earthquake Prediction Theory and Mathematical Geophysics of RAS, Moscow
- **Anatoly K. Rybin**, Dr. Sci. (Phys. and Math.), Research Station of RAS in Bishkek City, Bishkek, Kyrgyzstan
- **Elena V. Sasorova**, Dr. Sci. (Phys. and Math.), P.P. Shirshov Institute of Oceanology of RAS, Moscow

*Редакционная коллегия*

- **Сергеева Ирина Вячеславовна**, д-р биол. наук, профессор, Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова, Саратов
- **Такахаши Хироаки**, профессор, Институт сейсмологии и вулканологии Университета Хоккайдо, Саппоро, Япония
- **Троицкая Юлия Игоревна**, д-р физ.-мат. наук, профессор, Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород; Нижегородский гос. университет им Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород
- **Христофорова Надежда Константиновна**, д-р биол. наук, профессор, чл.-корр. РАЕН, Заслуженный деятель науки РФ, Дальневосточный федеральный университет, Владивосток
- **Шакиров Ренат Белалович**, д-р геол.-минер. наук, доцент, Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, Владивосток
- **Шевченко Георгий Владимирович**, д-р физ.-мат. наук, Сахалинский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии, Южно-Сахалинск
- **Шеменда Александр Ильич**, профессор исключительного класса, Университет Ниццы София-Антиполис, Ницца, Франция
- **Ярмолюк Владимир Викторович**, академик РАН, д-р геол.-минер. наук, Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН, Москва

*Editorial Board*

- **Irina V. Sergeeva**, Dr. Sci. (Biology), Professor, Saratov State Vavilov Agrarian University, Saratov
- **Hiroaki Takahashi**, Professor, Institute of Seismology and Volcanology, Hokkaido University, Sapporo, Japan
- **Yuliya I. Troitskaya**, Dr. Sci. (Phys. and Math.), Professor, Institute of Applied Physics of RAS, Nizhniy Novgorod; Lobachevsky University, Nizhniy Novgorod
- **Nadezhda K. Khristoforova**, Dr. Sci. (Biology), Professor, Corr. Member of RAES, Far Eastern Federal University, Vladivostok
- **Renat B. Shakirov**, Dr. Sci. (Geol. and Miner.), Associate Professor, V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute of the FEB RAS, Vladivostok
- **Georgiy V. Shevchenko**, Dr. Sci. (Phys. and Math.), Sakhalin Branch of the Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography, Yuzhno-Sakhalinsk
- **Alexandre I. Chemenda (Shemenda)**, Dr. Sci. (Phys. and Math.), Professeur des Universités de Classe Exceptionnelle, Université de Nice Sophia Antipolis, Nice, France
- **Vladimir V. Yarmolyuk**, Academician of RAS, Dr. Sci. (Geol. and Miner.), Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry of RAS, Moscow

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций. (Регистрационный номер ПИ № ФС 77-73243 от 13.07.2018 г.). Территория распространения – Российская Федерация, зарубежные страны.

*Переводчик Качесова Галина Сергеевна*

*Редактор* к.ф.н. **Низяева Галина Филипповна**  
*Компьютерная верстка* **Филимонкина Анна Александровна**  
*Корректор* **Качесова Галина Сергеевна**  
*Дизайн* **Леоненкова Александра Викторовна**

*Адрес редакции журнала и типографии:*  
 693022, Россия, г. Южно-Сахалинск, ул. Науки, 1Б.  
 gtrz-journal@mail.ru

Формат 60 × 84 /8. Усл. печ. л. 13.2.  
 Тираж 150 экз. Заказ 8023. Свободная цена.  
 Дата выхода в свет 28.09.2023.

Подписной индекс в Объединенном интернет-каталоге «Пресса России» (www.pressa-rr.ru) – 80882.

По вопросам распространения обращаться также в редакцию.

*Translator Galina S. Kachesova*

*Editor* **Galina Ph. Nizyaeva**, Cand. Sci. (Phylogeny)  
*Desktop publishing* **Anna A. Filimonkina**  
*Proofreader* **Galina S. Kachesova**  
*Design* **Alexandra V. Leonenkova**

*Postal address of the Editorial Office and printing house:*  
 1B, Nauki Str., Yuzhno-Sakhalinsk, 693022.  
 gtrz-journal@mail.ru

Sheet size 60 × 84 /8. Conv. print. sheets 13.2.  
 Number of copies 150. Order no. 8023. Free price.  
 Date of publishing 28.09.2023.

Subscription index in the United web-catalogue "Press of Russia" (www.pressa-rr.ru) – 80882.

Please also contact the Editorial Office for distribution.

**СОДЕРЖАНИЕ**

**CONTENT**

**Геофизика. Сейсмология**

*Н.А. Сычева.* Исследование сеймотектонических деформаций земной коры Алтае-Саянской горной области. Часть I . . . 223

**Общая и региональная геология**

*М.Ф. Крутенко, В.И. Исаев, Г. Лобова.* «Палеозойская» нефть Урманского месторождения (юго-восток Западной Сибири) . . . 243

**Общая и региональная геология. Океанология**

*Р.Б. Шакиров, Е.В. Мальцева, А.Л. Веникова, Н.Л. Соколова, А. И. Гресово.* Комплексные геолого-геофизические исследования по обоснованию внешней границы континентального шельфа России в Охотском и Восточно-Сибирском морях (2006–2009 гг.): обзор . . . 264

**Океанология. Геоинформатика и картография**

*Г.В. Шевченко, Д.М. Ложкин.* Сезонные и межгодовые вариации температуры поверхности моря в Татарском проливе по спутниковым данным . . . 276

[*Т.А. Воронина, В.В. Воронин.* Метод выбора данных для восстановления формы источника цунами] . . . 292

**Механика деформируемого твердого тела**

*П.Г. Великанов, Ю.П. Артюхин.* Исследование по динамике многоэтажных зданий . . . 304

**Геоэкология. Геоинформатика, картография**

**НАУЧНАЯ СМЕНА**

*М.Н. Маслова.* Количественный анализ эколого-хозяйственного баланса и структуры использования земель бассейна р. Туманная . . . 316

**Geophysics. Seismology**

*N.A. Sycheva.* Study of seismotectonic deformations of the Earth's crust in the Altai-Sayan mountain region. Part I . . . 223

**General and regional geology**

*M.F. Krutenko, V.I. Isaev, G. Lobova.* The Paleozoic oil in the Urman field (the southeast of Western Siberia) . . . 243

**General and regional geology. Oceanology**

*R.B. Shakirov, E.V. Maltseva, A.L. Venikova, N.L. Sokolova, A.I. Gresov.* Complex geological and geophysical studies on substantiation of the outer limits of the Russian continental shelf in the Sea of Okhotsk and East Siberian Sea (2006–2009): Review (in Engl., <http://journal.imgg.ru/web/full/f-e2023-3-3.pdf>) . . . 264

**Oceanology. Geoinformatics and cartography**

*G.V. Shevchenko, D.M. Lozhkin.* Seasonal and interannual variations in sea surface temperature in the Tatar Strait according to satellite data (in Engl., <http://journal.imgg.ru/web/full/f-e2023-3-4.pdf>) . . . 276

*T.A. Voronina, V.V. Voronin.* Data selection method for restoring a tsunami source form (in English) . . . 292

**Mechanics of deformable solids**

*P.G. Velikanov, Y.P. Artyukhin.* Research on the dynamics of multi-storey buildings . . . 304

**Geocology. Geoinformatics and cartography**

**NEW SCIENTIFIC GENERATION**

*M.N. Maslova.* Quantitative analysis of the ecological and economic balance and the structure of land use in the basin of the Tumannaya River . . . 316

© Автор 2023 г. Открытый доступ.  
Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution  
License 4.0 International (CC BY 4.0)



© The Author 2023. Open access.  
Content is available under Creative Commons Attribution  
License 4.0 International (CC BY 4.0)

НАУЧНАЯ СМЕНА

Маслова

Марина Николаевна



В 2022 г. окончила Департамент наук о Земле Дальневосточного федерального университета по магистерской специальности «Природопользование и охрана природы». За время обучения в университете дважды проходила производственную практику в Информационно-картографическом центре Тихоокеанского института географии ДВО РАН. Студенткой 3-го курса бакалавриата пришла туда на работу в качестве младшего научного сотрудника. Бакалавриатская и магистерская дипломные работы были посвящены изучению структуры использования земель в трансграничном бассейне реки Раздольная (КНР и РФ).

В настоящее время является аспирантом ТИГ ДВО РАН по направлению «Геоэкология». Научные интересы связаны с изучением природопользования с помощью данных дистанционного зондирования и геоинформационных систем. Диссертационное исследование посвящено изучению структуры использования земель и

геологического состояния трансграничного бассейна реки Туманная в пределах КНР, КНДР и РФ.

Регулярно принимает участие в форумах и конференциях регионального, российского и международного уровня. С 2022 г. начала публиковать научные работы.

УДК 910.3

<https://doi.org/10.30730/gtr.2023.7.3.316-330>  
<https://www.elibrary.ru/kfayqpb>

## Количественный анализ эколого-хозяйственного баланса и структуры использования земель бассейна р. Туманная

*М. Н. Маслова*

@ E-mail: [maslova.marina.99@mail.ru](mailto:maslova.marina.99@mail.ru)

Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, Владивосток, Россия

**Резюме.** Работа посвящена изучению структуры использования земель в трансграничном бассейне р. Туманная. На основе данных дистанционного зондирования составлена карта использования земель бассейна р. Туманная. Согласно бассейновому подходу, территория с помощью программного комплекса ArcGIS была разделена на бассейны притоков I, II и III порядка – всего 21. Анализ результатов картографирования был проведен с применением математических методов и количественных приемов. Выявлено, что эколого-хозяйственное состояние трансграничного бассейна имеет низкий уровень напряженности. Менее сбалансировано

эколого-хозяйственное состояние пойменной части, для которой установлены низкие значения коэффициента естественной защищенности. Минимальное значение данного коэффициента характерно для территории КНДР. Среди количественных показателей более информативны энтропийная мера сложности и ее производные, а также индекс Маргалефа. Высокими значениями большинства показателей сложности обладают припойменные части бассейна в пределах КНР и КНДР. В отличие от периферийных частей бассейна, они подвержены большему антропогенному воздействию. Российская территория бассейна является наименьшей по площади, с меньшим разнообразием типов использования земель и большей их раздробленностью.

**Ключевые слова:** трансграничный бассейн, тип использования земель, эколого-хозяйственный баланс, количественные приемы анализа карт

## Quantitative analysis of the ecological and economic balance and the structure of land use in the basin of the Tumannaya River

Marina N. Maslova

@ E-mail: maslova.marina.99@mail.ru

Pacific Geographical Institute, FEB RAS, Vladivostok, Russia

**Abstract.** The article is devoted to the study of the structure of land use in the transboundary basin of the Tumannaya River. The map of land use within the Tumannaya River basin was compiled using remote sensing data. According to the basin approach, the territory was divided into the tributary basins of the first, second and third order using the ArcGIS software suite – a total of 21. The mapping results were analyzed by means of mathematical methods and quantitative techniques. The ecological and economic state of the transboundary basin has been found to have a low level of tension. The ecological and economic state of the floodplain is less balanced, for which low values of the natural protection coefficient have been identified. The minimum value of this coefficient is typical for the DPRK territory. The entropic measure of complexity and its derivatives as well as the Margalef index are more informative among the quantitative indicators. The floodplain parts of the basin within the PRC and the DPRK also have high values for most of the complexity indicators. Unlike the peripheral parts of the basin, they are more susceptible to anthropogenic effect. The Russian territory of the basin is the smallest in terms of the area, with less diversity in types of land use and greater fragmentation.

**Keywords:** transboundary basin, land use, ecological and economic balance, quantitative methods of map analysis

**Для цитирования:** Маслова М.Н. Количественный анализ эколого-хозяйственного баланса и структуры использования земель бассейна р. Туманная. *Геосистемы переходных зон*, 2023, т. 7, № 3, с. 316–330. <https://doi.org/10.30730/gtrz.2023.7.3.316-330>; <https://www.elibrary.ru/kfayqb>

**For citation:** Maslova M.N. Quantitative analysis of the ecological and economic balance and the structure of land use in the basin of the Tumannaya River. *Geosistemy perhodnykh zon = Geosystems of Transition Zones*, 2023, vol. 7, no. 3, pp. 316–330. (In Russ., abstr. in Engl.). <https://doi.org/10.30730/gtrz.2023.7.3.316-330>; <https://www.elibrary.ru/kfayqb>

### Введение

Водосборный бассейн р. Туманная занимает уникальное географическое положение и является одной из ключевых трансграничных территорий Дальнего Востока России. Свое начало река берет с восточного склона потухшего вулкана Пэктусан на плоскогорье Чанбайшань. Общая площадь водосбора составляет немногим более 33 тыс. км<sup>2</sup>. Длина реки – 549 км [1]. На большем своем протяжении река формирует границу КНДР с Китаем, на последних 17 км до впадения в Японское море является пограничной между КНДР и РФ. Таким образом, большая часть бассейна

реки находится в пределах КНР, 31 % в пределах КНДР и менее 1 % – в пределах РФ.

Водосборные бассейны крупных рек являются целостными геосистемами высшего уровня [2]. Единая геосистема или сочетание геосистем регионального уровня служат для территории основанием статуса международной трансграничной [3]. К такому типу территорий относится и бассейн р. Туманная, так как он расположен на взаимодействующих приграничных территориях, обладающих сочетаниями природных ресурсов и различных видов хозяйственной деятельности.

Бассейн расположен в месте пересечения интересов не только пограничных государств,

но и других стран Северо-Восточной Азии и Азиатско-Тихоокеанского региона. Так, ряд отдельных соглашений о сотрудничестве и приостановленный проект «Туманган» осуществлялись в области экономики (энергетика и торговля), транспорта, туризма и культуры, охраны окружающей среды [4]. В связи с отсутствием единой региональной политики существует необходимость изучения территории начиная с ее экологического состояния. Применение бассейнового принципа Л.М. Коротного позволяет рассматривать речной бассейн как целостную геосистему с четкими границами [2], как целостный объект комплексных географических оценок, анализа структуры и динамики, разработки общих принципов, норм и ограничений природопользования по обе стороны от государственной границы [5].

Целью настоящей работы является количественный анализ эколого-хозяйственного баланса (ЭХБ) и структуры использования земель бассейна р. Туманная. Эколого-хозяйственный баланс территории есть сбалансированное соотношение различных видов деятельности и интересов различных групп населения с учетом потенциальных и реальных возможностей природы. Необходимым для понимания современного состояния территории является установление различий ЭХБ составляющих частей трансграничного бассейна. Расширенный анализ землепользования на отдельных частях трансграничного речного бассейна важен для определения вектора развития социально-экономических, экологических, политических и иных отношений между пограничными странами, а также для разработки совместных действий по контролю и уменьшению негативного антропогенного влияния [5].

## Материалы и методы исследования

Изучение и анализ структуры использования земель бассейна р. Туманная проведены автором с использованием данных дис-

танционного зондирования. Единообразные картографические данные позволяют корректно сравнивать три части трансграничного бассейна. Космические снимки за май, июнь и сентябрь 2019 и 2020 гг. аппаратов Sentinel-2 и Landsat-8 взяты с сервера EarthExplorer (<https://earthexplorer.usgs.gov/>; accessed 28.08.2022). Дешифрирование космических снимков осуществлялось с помощью создания векторных слоев с выделением полигональных и линейных объектов в программном пакете ArcGIS Pro.

Анализ землепользования проведен нами согласно классификации типов использования земель, разработанной на основе Земельного кодекса РФ\* и геоэкологической классификации ландшафтов В.А. Николаева [6]. Типы использования земель были условно разделены на две группы – природные и антропогенные. К первой группе относятся лесные земли, луга, редколесья и кустарники, водные объекты; ко второй – используемые и неиспользуемые сельскохозяйственные земли, рисовые поля, рубки и лесопосадки, карьеры, земли населенных пунктов и земли промышленного использования. Всего 12 категорий земель. В результате построена карта использования земель в бассейне р. Туманная по состоянию на 2020 г. в масштабе 1:100 000 [7].

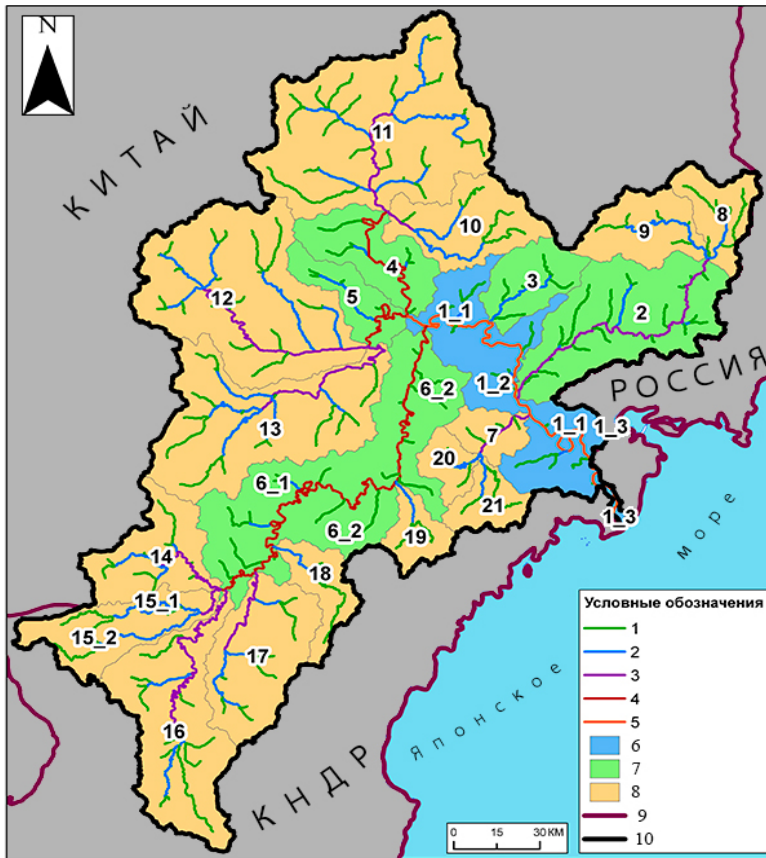
Согласно бассейновой концепции Л.М. Коротного [2], специфика природопользования бассейновой геосистемы определяется как трансграничностью геосистемы с дифференцированными экономиками соседних государств и их воздействием на части геосистемы, так и ее бассейновым характером. Многофакторное воздействие хозяйственной политики пограничных стран определяет необходимость изучения состояния отдельных частей международной трансграничной территории, а также комплекса проблем, влияющих на эффективность природопользования и экологическое состояние данной территории. Таким образом, основным научным подходом в исследовании был принят бассейновый.

\* Земельный кодекс Российской Федерации: Федеральный закон от 25.10.2001 № 136-ФЗ (ред. от 24.06.2023). URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_33773/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_33773/) (дата обращения 01.08.2023). [The Land Code of the Russian Federation: Federal Law No. 136-FZ of October 25, 2001 (as amended on 24.06.2023)].

**Таблица 1.** Основные показатели количественной оценки структуры использования земель бассейна р. Туманная [8–12]  
**Table 1.** Main indicators of quantitative assessment of the structure of land use in the Tumannaya River basin [8–12]

№ п/п	Показатель	Обозначение / формула
<i>Группа простейших характеристик</i>		
1	Площадь района (зоны)	$S$
2	Площадь одного природно-территориального комплекса в районе (зоне)	$S_i$
3	Количество природно-территориальных комплексов	$M$
4	Количество контуров	$n$
5	Среднее количество контуров на 1 природно-территориальный комплекс	$p$
6	Средняя площадь ландшафтных контуров	$S_0 = \frac{S}{n}$
<i>Группа характеристик сложности</i>		
7	Индекс дробности ландшафтных контуров	$k = \frac{n}{S}$
8	Коэффициент сложности структуры ландшафтов	$K_{\text{слож}} = \frac{n}{S_0}$
9	Коэффициент ландшафтной раздробленности	$K = \frac{S_0 \cdot 100 \%}{P}$
10	Энтропийная мера сложности ландшафтного рисунка (мера общего разнообразия)	$H = - \sum_{i=1}^m \frac{S_i}{S} \log_2 \frac{S_i}{S}$
11	Максимально возможная энтропийная сложность ландшафтного строения	$H_{\text{max}} = \log_2 M$
12	Относительная организация ландшафтов (мера упорядоченности)	$R = 1 - \frac{H}{H_{\text{max}}}$
13	Абсолютная организация ландшафтов (мера неуравновешенности)	$H_1 = H_{\text{max}} - H$
14	Выравненность рангового распределения (мера однообразия)	$E = \frac{H}{H_{\text{max}}}$
15	Индекс Маргалефа	$D_{mg} = \frac{(M - 1)}{\ln S}$
<i>Показатели эколого-хозяйственного баланса</i>		
16	Коэффициент абсолютной напряженности	$K_a = \frac{AH_6}{AH_1}$
17	Коэффициент относительной напряженности	$K_o = \frac{AH_4 + AH_5 + AH_6}{AH_1 + AH_2 + AH_3}$
18	Суммарная площадь земель со средо- и ресурсостабилизирующими функциями (сф)	$P_{\text{сф}} = P_1 + 0.8P_2 + 0.6P_3 + 0.4P_4$
19	Коэффициент естественной защищенности	$K_{\text{ез}} = \frac{P_{\text{сф}}}{P_0}$





**Рис. 1.** Структура бассейна р. Туманная. Порядок водотоков: 1 – приток I порядка, 2 – приток II порядка, 3 – приток III порядка, 4 – приток IV порядка, 5 – приток V порядка. Порядок бассейнов: 6 – I порядка, 7 – II порядка, 8 – III порядка. 9 – государственная граница (в пределах бассейна р. Туманная граница проходит по руслу рек); 10 – граница бассейна р. Туманная. Цифрами от 1 до 21 обозначены выделенные бассейны.

**Fig. 1.** Structure of the Tumannaya River basin. The order of watercourses: 1 – tributary of the 1st order, 2 – tributary of the 2nd order, 3 – tributary of the 3rd order, 4 – tributary of the 4th order, 5 – tributary of the 5th order. Basin order: 6 – 1st order, 7 – 2nd order, 8 – 3rd order. 9 – state border (within the Tumannaya River basin, the border runs along riverbeds); 10 – boundary of the Tumannaya River basin. Numbers from 1 to 21 indicate selected basins.

На основе цифровой модели рельефа с использованием приложения Model Builder, инструментов пространственного анализа и инструмента «гидрология» в программе ArcGIS Pro была построена цифровая модель системы водотоков и бассейнов р. Туманная. Для дальнейшего картографо-статистического анализа общий бассейн реки был разделен на бассейны притоков I, II и III порядков – всего 21. Бассейны, которые находятся на пересечении государственных границ, а именно бассейны № 1, № 6 и № 15, были разделены по линии государственной границы. Так образованы бассейны № 1\_1, 1\_2 и 1\_3, 6\_1 и 6\_2, 15\_1 и 15\_2. Таким образом, всего для

анализа было сгенерировано 25 бассейнов (рис. 1).

В рамках исследования был проведен расчет и анализ эколого-хозяйственного баланса территории. Для его определения в пределах бассейна р. Туманная использованы следующие характеристики: распределение земель по видам и категориям, площади земель по видам и степени антропогенной нагрузки, напряженность эколого-хозяйственного состояния (ЭХС) территории, интегральная антропогенная нагрузка, естественная защищенность территории, экологический фонд территории [8]. В расчетах не использовались значения площади природоохранных территорий, так как получить корректные и сравнимые данные по КНР и КНДР не представляется возможным.

Для количественной оценки сложности и разнообразия структуры использования земель математическими методами были выбраны следующие показатели: индекс дробности, коэффициент ландшафтной раздробленности, коэффициент сложности структуры ландшафтов, энтропийная мера сложности ландшафтного рисунка, максимально возможная сложность ландшафтного строения,

относительная и абсолютная организация ландшафтов, выравненность рангового распределения, индекс Маргалефа [8–12] (табл. 1).

## Результаты и обсуждение

Эколого-хозяйственный баланс территории означает сбалансированное соотношение различных видов деятельности и интересов населения на территории с учетом потенциальных и реальных возможностей природы. Баланс обеспечивает устойчивое развитие природы и общества, воспроизводство природных ресурсов и отсутствие отрицательных экологических изменений и последствий. Учет ЭХБ территории позволяет совершенствовать структуру

землепользования и создавать на его основе структуры соответствия элементов ландшафта и видов использования земель с ориентацией на постоянное расширение природных систем жизнеобеспечения человека.

Для определения степени антропогенной нагрузки (АН) земель вводятся экспертные балльные оценки. Согласно методике Б.И. Кочурова, выделенные в результате картографирования типы использования земель были объединены в однородные группы от минимальной до максимальной степени АН и каждому типу был присвоен соответствующий балл (табл. 2). К землям с очень низкой степенью АН (1 балл) не был отнесен ни один тип земель (отметим, что получить корректную информацию о количестве и распределении ООПТ для КНР и КНДР не удалось).

Группировка земель по степени АН позволяет оценить антропогенную преобразованность территории в сопоставимых показателях. Таким образом, были посчитаны коэффициенты абсолютной ( $K_a$ ) и относительной ( $K_o$ ) напряженности ЭХС территории (табл. 3).

*Коэффициент абсолютной напряженности* показывает отношение площади земель, сильно нарушенных антропогенной деятельностью, к площади малотронутых/нетронутых территорий. Преобладание последних определяет более низкое значение коэффициента, а значит свидетельствует о большем благополучии состояния окружающей среды. В пре-

делах трансграничного бассейна р. Туманная значение данного коэффициента находится в диапазоне от 0.005 (бассейн № 21) до 0.129 (бассейн № 12). Среднее значение  $K_a$  для всего бассейна составляет 0.05. Для всех выделенных бассейнов отмечается значительный перевес площади земель с низкой АН по сравнению с землями с высокой АН. Это определяется доминированием в структуре земель лесных земель и земель, занятых лугами. Особенно большой перевес отмечается для корейской части бассейна со средним значением  $K_a = 0.035$  (для китайской части среднее значение равно 0.057, российской – 0.099).

*Коэффициент относительной напряженности* ( $K_o$ ) в наибольшей степени характеризует ЭХС, так как при его расчете охватывается вся территория и все типы земель. Сбалансированную напряженность ЭХС по степени АН и потенциалу устойчивости природы характеризует значение данного коэффициента близкое или равное 1. Среднее значение для бассейна р. Туманная составляет 0.234. Наиболее сбалансированную напряженность ЭХС имеет бассейн под номером 1\_2, являющийся частью бассейна I порядка и расположенный в припойменной части бассейна р. Туманная на территории КНДР. Ему присуще максимальное значение коэффициента среди всех рассматриваемых бассейнов – 0.858.

Среднее значение для корейской части бассейна  $K_o$  составляет 0.364. В целом для бассейнов в пределах КНДР показатели коэффи-

**Таблица 2.** Классификация земель бассейна р. Туманная по степени антропогенной нагрузки

**Table 2.** Classification of lands of the Tumannaya River basin according to the degree of anthropogenic load

Степень АН	Балл	Виды и категории земель по классификации Б.И. Кочурова [8]	Тип использования земель согласно классификации при картографировании бассейна р. Туманная	Площадь в пределах бассейна, км <sup>2</sup>
Высшая	6	Земли промышленности, транспорта городов, поселков, инфраструктуры; нарушенные земли	Карьеры, населенные пункты, промышленные объекты	1 456.26
Очень высокая	5	Орошаемые и осушаемые земли	Рисовые чеки	409.57
Высокая	4	Пахотные земли; ареалы интенсивных рубок; пастбища и сенокосы, используемые нерационально	Сельскохозяйственные земли (используемые и неиспользуемые), рубки	4 424.77
Средняя	3	Многолетние насаждения, рекреационные земли	Лесопосадки, редколесья, водные объекты	487.83
Низкая	2	Сенокосы; леса, используемые ограниченно	Лесные земли, луга	26 344.53
Очень низкая	1	Природоохранные и неиспользуемые земли	–	–

циента приближены к усредненному значению 0.5 – это бассейны № 6\_2 (0.511), № 7 (0.461), № 20 (0.453) и № 16 (0.410). Бассейны № 6\_2, 7 и 20 находятся в средней части бассейна реки со среднегорным и равнинным рельефом и характеризуются средней освоенностью. Бассейн № 16 находится в южной высокогорной части. Наименьшее значение  $K_o$  (0.020) присуще бассейну № 14 на территории КНР. Среднее значение коэффициента относительной напряженности для китайской части бассейна составляет 0.154, что свидетельствует о наименее сбалансированной напряженности ЭХС этой территории. Для бассейна № 1\_3, который находится в пределах России, также характерно одно из низких значений коэффициента – 0.060.

Устойчивость природно-антропогенной территории напрямую зависит от ее разнообразия: более высокое разнообразие определяет большую устойчивость. Уровень естественной защищенности территории зависит от площади и распределения земель экологического фонда. Чем больше площадь естественных биоценозов, урочищ, природоохранных зон и ООПТ, т.е. земель *со средо- и ресурсостабилизирующими функциями*, тем выше естественная защищенность и устойчивость территории. Уровень естественной защищенности также зависит от распределения земель по степени АН.

*Коэффициент естественной защищенности* ( $K_{ез}$ ) отражает отношение земель со

**Таблица 3.** Показатели эколого-хозяйственного баланса бассейна р. Туманная  
**Table 3.** Indicators of ecological and economic balance of the Tumannaya River basin

Номер бассейна	Коэффициент абсолютной напряженности ( $K_a$ )	Коэффициент относительной напряженности ( $K_o$ )	Земли со средо- и ресурсостабилизирующими функциями ( $P_{эф}$ )	Коэффициент естественной защищенности ( $K_{ез}$ )
1_1	0.121	0.307	847.040	0.839
1_2	0.099	0.858	1029.569	0.772
1_3	0.021	0.060	28.963	0.945
2	0.093	0.255	2042.573	0.865
3	0.013	0.031	753.082	0.980
4	0.060	0.216	954.232	0.889
5	0.098	0.199	575.221	0.879
6_1	0.049	0.121	1815.340	0.928
6_2	0.049	0.511	1474.869	0.842
7	0.044	0.461	354.383	0.847
8	0.011	0.074	667.699	0.965
9	0.013	0.035	915.653	0.978
10	0.050	0.097	1170.077	0.935
11	0.025	0.125	3873.806	0.939
12	0.129	0.289	2957.727	0.845
13	0.117	0.349	2447.080	0.836
14	0.008	0.020	1183.931	0.987
15_1	0.014	0.037	242.416	0.977
15_2	0.038	0.191	855.506	0.910
16	0.011	0.410	2071.502	0.877
17	0.011	0.204	1539.051	0.926
18	0.041	0.270	538.941	0.894
19	0.018	0.177	428.058	0.928
20	0.037	0.453	311.226	0.858
21	0.005	0.103	475.538	0.956
<i>Среднее</i>	<i>0.05</i>	<i>0.23</i>	<i>1182.14</i>	<i>0.90</i>

средо- и ресурсостабилизирующими функциями к общей площади территории. Данный интегральный коэффициент используется для комплексной оценки территории, а его значение менее 0.5 свидетельствует о критическом уровне защищенности территории. Среднее значение  $K_{\text{ез}}$  для всего трансграничного бассейна р. Туманная составляет 0.9. Среди 25 выделенных бассейнов наименьшее значение  $K_{\text{ез}}$  у бассейна № 1\_2 (0.77) на территории КНДР. Совместно с бассейнами № 1\_1, № 6\_2 и № 13 он образует территорию, преимущественно

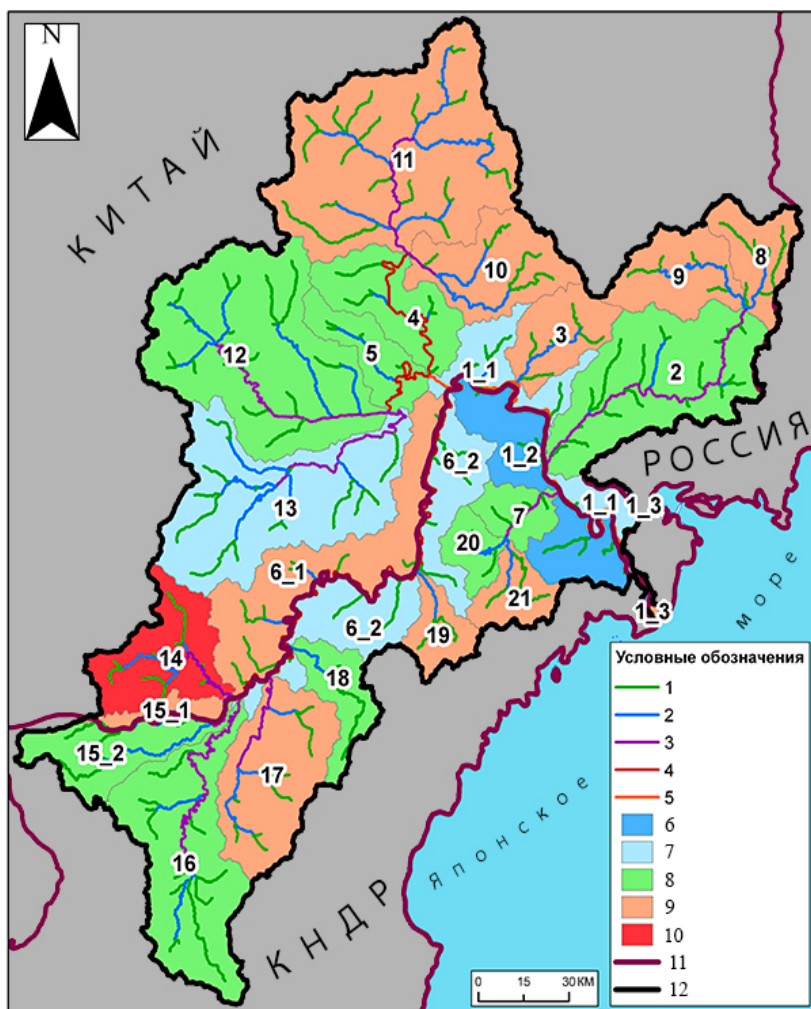
в центральной части бассейна р. Туманная, с наименьшим соотношением земель со стабилизирующими функциями. Однако значения  $K_{\text{ез}}$  в пределах этой территории значительно выше 0.5, что свидетельствует об отсутствии критического уровня естественной защищенности.

Наибольшее значение коэффициента – у бассейна № 14 (0.987) в пределах КНР (рис. 2). В целом, среднее значение коэффициента защищенности для китайской части составляет 0.917, для корейской – 0.881. Для бассейна № 1\_3, единственного в пределах российской

части бассейна, значение коэффициента составляет 0.945 (табл. 3).

Для характеристики сложности и разнообразия структуры использования земель был выбран ряд показателей (таблицы 1 и 4). Их анализ позволяет выявить специфику структуры землепользования исследуемой территории и определить пути ее развития.

*Индекс дробности* характеризует раздробленность и пестроту состава ландшафтного рисунка. Данный индекс показывает среднее количество контуров на выделенную территорию исследования [9]. Среднее значение индекса составляет 0.25. Максимальное значение (0.98) характерно для бассейна под номером 1\_3 в пределах российской части. Близость государственной границы и вытянутость этого бассейна, а также небольшая его площадь определяют полученное значение индекса. Минимальные значения (0.06–0.07) присущи бассейнам № 3 и 14 на территории КНР, а также бассейну № 15\_2 на территории КНДР. При их довольно средней для всего бассейна площади, им свойственны максимальные значения средней площади контура – 14.2 км<sup>2</sup>, 14.6 км<sup>2</sup> и 17.7 км<sup>2</sup> соответственно (при среднем для 25 составляющих бассейнов значении площади контура 6.4 км<sup>2</sup>) (табл. 4).



**Рис. 2.** Ранжирование территории бассейна р. Туманная по значению коэффициента естественной защищенности. Порядок водотоков (притоков): 1 – 1 порядка, 2 – II порядка, 3 – III порядка, 4 – IV порядка, 5 – V порядка. Значение коэффициента естественной защищенности: 6 – минимальное, 7 – низкое, 8 – среднее, 9 – высокое, 10 – максимальное. 11 – граница бассейна р. Туманная; 12 – государственная граница. Цифрами от 1 до 21 обозначены выделенные бассейны.

**Fig. 2.** Ranking of the territory of the Tumannaya River basin according to the value of the natural protection coefficient. The order of watercourses (tributaries): 1 – tributary of the 1st order, 2 – 2nd order, 3 – 3rd order, 4 – 4th order, 5 – 5th order. Value of natural protection coefficient: 6 – minimum, 7 – low, 8 – average, 9 – high, 10 – maximum. 11 – boundary of the Tumannaya River basin; 12 – state border. Numbers from 1 to 21 indicate selected basins.

**Таблица 4.** Результаты количественного анализа структуры использования земель бассейна р. Туманная  
**Table 4.** Results of a quantitative analysis of the structure of land use in the Tumannaуa River basin

Номер бассейна	Индекс дробности ( $k$ )	Коэффициент сложности ( $K_{\text{слож}}$ )	Коэффициент ландшафтной раздробленности ( $K$ )	Энтропийная мера сложности ландшафтного рисунка ( $H$ )	Максимально возможная сложность ландшафтов ( $H_{\text{max}}$ )	Относительная организация ландшафта ( $R$ )	Абсолютная организация ландшафта ( $H_1$ )	Выравнивание рангового распределения ( $E$ )	Индекс Маргалефа ( $D_{\text{mg}}$ )
1_1	0.42	177.17	0.24	1.32	3.46	0.62	2.14	0.38	61.00
1_2	0.32	137.36	0.23	1.43	3.00	0.52	1.57	0.48	59.34
1_3	0.98	29.36	3.33	0.66	3.00	0.78	2.34	0.22	8.47
2	0.29	196.40	0.15	1.03	3.46	0.70	2.43	0.30	87.55
3	0.07	3.79	1.85	0.13	3.46	0.96	3.33	0.04	7.98
4	0.35	131.02	0.27	0.88	3.46	0.75	2.58	0.25	53.59
5	0.38	94.79	0.40	1.02	3.58	0.72	2.57	0.28	38.25
6_1	0.26	132.43	0.20	0.36	3.46	0.90	3.10	0.10	67.03
6_2	0.37	237.57	0.16	1.46	3.32	0.56	1.86	0.44	86.23
7	0.24	24.37	0.99	0.99	3.00	0.67	2.01	0.33	16.56
8	0.21	29.98	0.69	0.27	3.17	0.92	2.90	0.08	21.87
9	0.15	22.15	0.69	0.16	3.32	0.95	3.16	0.05	20.90
10	0.12	19.44	0.64	0.39	3.46	0.89	3.07	0.11	21.73
11	0.21	177.20	0.12	0.54	3.46	0.84	2.92	0.16	102.58
12	0.36	461.43	0.08	1.23	3.58	0.66	2.35	0.34	155.62
13	0.39	441.75	0.09	1.26	3.58	0.65	2.32	0.35	142.33
14	0.07	5.61	1.22	0.10	3.00	0.97	2.90	0.03	11.42
15_1	0.11	2.94	3.70	0.25	2.32	0.89	2.07	0.11	4.72
15_2	0.06	2.99	1.89	0.66	2.58	0.74	1.92	0.26	7.60
16	0.11	30.42	0.37	0.75	2.58	0.71	1.83	0.29	34.38
17	0.10	16.99	0.60	0.61	3.00	0.80	2.39	0.20	22.52
18	0.10	6.38	1.61	0.50	2.81	0.82	2.31	0.18	9.53
19	0.12	6.32	1.85	0.41	2.58	0.84	2.18	0.16	8.64
20	0.28	29.25	0.97	0.84	2.81	0.70	1.96	0.30	17.31
21	0.12	7.00	1.69	0.31	2.81	0.89	2.50	0.11	9.34
Среднее	0.25	96.96	0.96	0.70	3.13	0.78	2.43	0.22	43.06

Коэффициент сложности структуры ландшафтов  $K_{\text{слож}}$  прямо пропорционален числу морфологических единиц и обратно пропорционален их среднему размеру [13]. Среднее значение коэффициента сложности ландшафтного рисунка природных районов для трансграничного бассейна составляет 96.96 (табл. 4). Наибольшие значения отмечаются для бассейнов № 12 и 13 (461.43 и 441.75 соответственно) на территории КНР, а также для бассейна № 6\_2 (237.57) на территории КНДР. Таким образом, подтверждается прямая зависимость сложности от количества морфологических единиц, так как названы бассейны с наибольшими площадями и наибольшим количеством полигонов. Высокие значения (от 130 и более) характерны для крупных бассейнов в центральной части бассейна, здесь находятся одни из основных притоков р. Туманная. Это наиболее освоенная территория с наибольшим количеством полигонов и максимальным разнообразием типов использования земель.

Средняя площадь контура и низкий коэффициент сложности говорят о менее сложной структуре использования земель в пределах бассейнов № 3, 14, 15\_1, 15\_2, 18, 19 и 21, где значения коэффициента менее 7.0. Наименьшие значения  $K_{\text{слож}}$  характерны для бассейнов № 15\_1 и 15\_2 (2.94 и 2.99 соответственно). Указанные бассейны являются частями одного водосборного бассейна III порядка, пересекаемого государственной границей. В данном случае выделенные полигоны определенного типа использования земель были разделены согласно границе, образуя более дробный рисунок. Но в определенной степени вычисленный коэффициент имеет низкие значения из-за небольшой площади бассейнов. Значения  $K_{\text{слож}}$  от минимального до 94.8 характерны преимущественно для бассейнов притоков III порядка, с площадью до 1250 км<sup>2</sup>, на периферии трансграничного бассейна р. Туманная. В пределах этих бассейнов, как правило, отмечаются крупные полигоны таких земель, которые не используются в активной хозяйственной деятельности.

Для определения энтропийной меры сложности ландшафтного рисунка  $H$  (иначе – общего разнообразия) используется формула Шеннона–Винера [9]. Расчет данного показателя

позволяет выявить неопределенность типологической принадлежности полигона. Неопределенность тем выше, чем менее однороден участок. При среднем значении показателя энтропийной меры сложности для всего бассейна р. Туманная 0.70 (табл. 4), максимальное значение для бассейна № 6\_2 на территории КНДР составляет 1.465. Значение выше 1.0 характерно также для бассейнов № 1\_1, 1\_2, 2, 5, 12, 13. Это бассейны внутренней части бассейна р. Туманная, расположенные в непосредственной близости от основного русла реки и ее притоков, в низменной и среднегорной местности. Для каждого из указанных бассейнов характерно большое количество полигонов разного типа и высокая средняя площадь полигонов. Минимальное значение отмечается у бассейна № 14 (0.099). Он преимущественно покрыт лесами, расположен в высокогорной юго-западной части всего бассейна, на склонах влк. Пэктусан в пределах КНР.

Для количественного анализа структуры использования земель также применяются производные энтропийные структурные показатели, которые направлены на оценку организованности ландшафтного строения территории. Максимально возможная энтропийная мера сложности ландшафтного строения ( $H_{\text{max}}$ ) зависит от количества геосистем определенного участка [14]. Данный показатель позволяет измерять сложность системы ее разнообразием (числом состояний), в которых она может находиться. Мера однообразия определяется отношением абсолютной энтропии к максимально возможной при данном количестве типов использования земель (табл. 1). То есть отношение величины энтропийной меры сложности к максимально возможной дает оценку *выравненности рангового распределения*  $E$  [15] (иначе – меры однообразия [9]). Эффективность хозяйственной деятельности тем выше, чем меньше выравнивание. Большее значение выравнивания свидетельствует о большей эффективности стратегии сохранения разнообразия. От величины выравнивания напрямую зависит способность системы производить полезную работу – чем меньше первое, тем легче получить полезную продукцию.

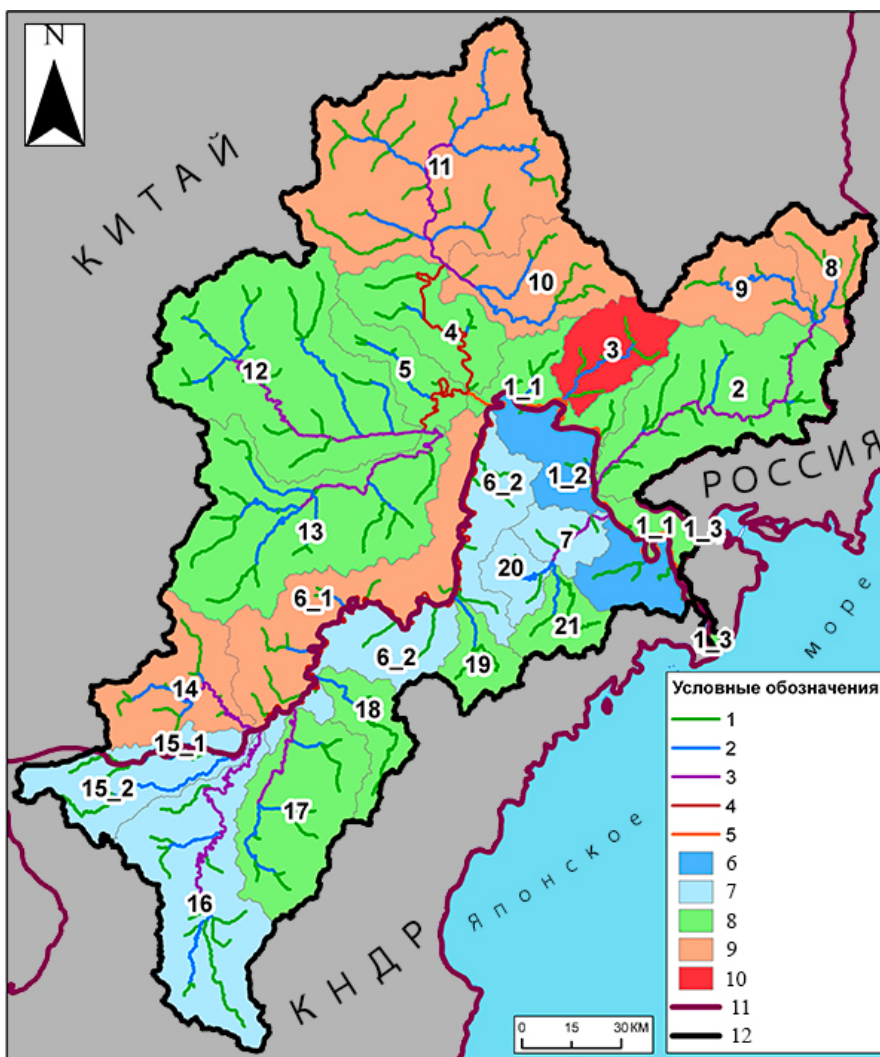
Неопределенность системы характеризует ее неорганизованность. Чем меньше допу-

стимых состояний может иметь система, тем она более упорядочена. Мерой неуравновешенности  $H_1$ , или абсолютной организованности, служит разность между максимальной неопределенностью и текущей (табл. 1) [14]. По мнению Ю.Г. Пузаченко [15], это выражение определяет степень доминантности. Чем больше максимально возможное разнообразие отличается от рассчитанного, тем выше доминирование какого-либо одного типа элементарных территориальных единиц.

Для выделенных бассейнов трансграничной территории бассейна р. Туманная минимальное значение  $H_{\max}$  (2.58) присуще бассейнам № 15\_2, 16 и 19 – все они находятся в пределах КНДР (табл. 4). Максимальное значение  $H_{\max}$  (3.58) характерно для бассейнов № 5, 12 и 13 – в пределах КНР. Можно отметить, что показатель напрямую зависит от количества типов использования земель в бассейне – лидирующие позиции по данному показателю занимают бассейны с наибольшим количеством представленных типов земель.

Среднее значение меры абсолютной организованности  $H_1$  для всего бассейна р. Туманная составляет 2.46. Высокие значения  $H_1$  имеют бассейны, расположенные в КНР (рис. 3). Максимальный показатель (3.33) характерен для бассейна № 3; для бассейнов № 6\_1 и 9 он равен 3.16 и 3.10 соответственно. Все бассейны с низким значением  $H_1$  находятся на территории КНДР. Минимальное значение присуще бассейну № 16 – 1.83, а бассейнам № 20 и 6\_2 – 1.86 и 1.98 соответственно.

Среднее значение выравненности ( $E$ ) составляет 0.22 (табл. 4), что говорит о достаточной эффективности хозяйственной деятельности. По определению выравненности [9], чем меньше значение этого показателя, тем эффективнее хозяйственная деятельность. Таким образом, в пределах бассейна р. Туманная наилучшим состоянием хозяйства отмечаются бассейны № 14, № 3 и № 9, расположенные в пределах КНР. Им присущи наименьшие значения выравненности – 0.03, 0.04 и



**Рис. 3.** Ранжирование территории бассейна р. Туманная по значению показателя абсолютной организации ландшафтов. Порядок водотоков: 1 – приток I порядка, 2 – приток II порядка, 3 – приток III порядка, 4 – приток IV порядка, 5 – приток V порядка. Значение показателя абсолютной организации ландшафтов: 6 – минимальное, 7 – низкое, 8 – среднее, 9 – высокое, 10 – максимальное; 11 – граница бассейна р. Туманная; 12 – государственная граница. Цифрами от 1 до 21 обозначены выделенные бассейны.

**Fig. 3.** Ranking of the territory of the Tumannaya River basin according to the value of the absolute organization of landscapes indicator. The order of watercourses (tributaries): 1 – tributary of the 1st order, 2 – 2nd order, 3 – 3rd order, 4 – 4th order, 5 – 5th order. Value of absolute organization of landscapes: 6 – minimum, 7 – low, 8 – average, 9 – high, 10 – maximum. 11 – boundary of the Tumannaya River basin; 12 – state border. Numbers from 1 to 21 indicate selected basins.

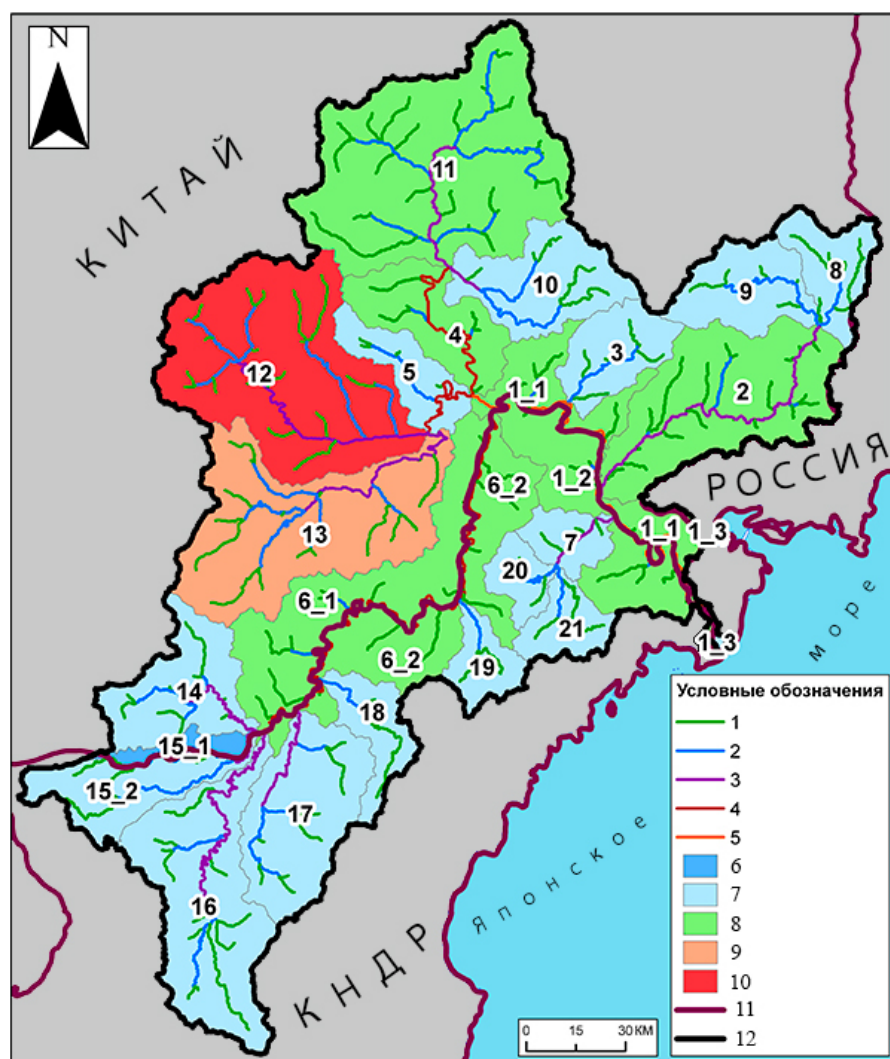
0.05 соответственно. Максимальные значения показателя присущи бассейнам № 1\_2 (0.48) и 6\_2 (0.44) на территории КНДР. В их пределах доминируют сельскохозяйственные земли и земли населенных пунктов.

Уменьшение неопределенности можно связать с увеличением параметра организации системы, а мерой упорядоченности (иначе относительной организации)  $R$  будет служить разность между единицей и мерой однообразия, или относительной энтропией (табл. 1) [9].

Показатель относительной организации ландшафтов  $R$  является наиболее информативным. Диапазон его значений находится в интервале от 0 до 1. При минимальном значении показателя система считается полностью детерминированной, при максимальном – наиболее организованной и сбалансированной [13].

Наибольшим значением показателя  $R$  (более 0.9) характеризуются бассейны № 3, 8, 9 и 14 – все в пределах КНР (табл. 4). Минимальное для исследуемых бассейнов значение составляет 0.7, оно характерно для бассейнов № 1\_1, 1\_2, 6\_2, 7, 12 и 13. Таким образом, можно сделать вывод о достаточной организованности и сбалансированности территории трансграничного бассейна в целом.

Коэффициент ландшафтной раздробленности  $K$  позволяет оценить отношение среднего размера площади конкретного типа к площади исследуемой территории. Распределение значения данного показателя сходно с распределением коэффициента сложности. Наибольшее значение (3.7 и 3.3) характерно для бассейнов № 15\_1 (КНДР) и 1\_3 (Россия) соответственно. Бассейн № 15\_1 и бассейн № 1\_3, как уже отмечалось выше, являются отделенными государственной границей частями бассейнов I–III порядка. Это объясняет разорванность и раздробленность многих выделенных полигонов. Наименьшее значение коэффициента отмечается для бассейнов № 12 и 13 – 0.08 и 0.09 соответственно. Это бассейны на территории Китая со свойственными им низкими значениями средней площа-



**Рис. 4.** Ранжирование территории бассейна р. Туманная по значению индекса Маргалефа. Порядок водотоков: 1 – приток I порядка, 2 – приток II порядка, 3 – приток III порядка, 4 – приток IV порядка, 5 – приток V порядка. Значение индекса Маргалефа: 6 – минимальное, 7 – низкое, 8 – среднее, 9 – высокое, 10 – максимальное; 11 – граница бассейна р. Туманная; 12 – государственная граница. Цифрами от 1 до 21 обозначены выделенные бассейны.

**Fig. 4.** Ranking of the territory of Tumannaya River basin by the Margalef index value. The order of watercourses (tributaries): 1 – tributary of the 1st order, 2 – 2nd order, 3 – 3rd order, 4 – 4th order, 5 – 5th order. Margalef index value: 6 – minimum, 7 – low, 8 – average, 9 – high, 10 – maximum. 11 – boundary of the Tumannaya River basin; 12 – state border. Numbers from 1 to 21 indicate selected basins.



ди контура и высокими значениями средней площади полигона.

Оценка *разнообразия структуры использования земель* осуществлялась с помощью методики Р. Маргалёфа [10]. Под разнообразием понимаются число и частота встречаемости типов использования земель в пределах какого-либо региона, отражающие структурно-генетическую неоднородность территории. Как отмечают в своей работе Е.А. Позаченюк и А.А. Агиенко [16], существует два подхода для определения разнообразия. Один из них связан с использованием космических снимков и материалов дистанционного зондирования. Другой, который был применен в настоящей работе, – качественный и количественный анализ структуры использования земель территории с использованием построенных карт и различных математико-статистических коэффициентов [12, 16].

Среднее значение *индекса Маргалёфа*  $D_{mg}$  составляет 44.74 (табл. 4). Максимальные значения – 155.62 и 142.33 – характерны для бассейнов № 12 и 13 соответственно (рис. 4). Эти бассейны в китайской части характеризуются не только высоким разнообразием, но также сложностью и раздробленностью. О наименьшем разнообразии говорят значения от 4.72 до 9.59, свойственные бассейнам № 1\_3, 3, 15\_1, 15\_2, 18, 19 и 21. Стоит отметить устойчивую взаимосвязь показателя с площадью бассейнов – чем больше площадь, тем выше значение индекса.

Показатели количественной оценки позволяют объективно оценить сложность и разнообразие структуры использования земель территории. Знание величин ландшафтного разнообразия, раздробленности, сложности и организации ландшафтов важно с практической точки зрения. Так, чем выше мера разнообразия и выравненности, тем условия более благоприятны для организации сохранения территории. Чем ниже – тем территория более благоприятна для эффективной хозяйственной деятельности (преимущественно монофункционального хозяйства) [15, 17]. В свою очередь, сравнение таких показателей с коэффициентом естественной защищенности позволяет соотнести настоящее состояние территории с ее потенциалом.

Таким образом, для бассейна р. Туманная можно определить достаточное разнообразие структуры использования, но в пределах центральной прирусловой части бассейна. Для периферийной части отмечается потенциал развития хозяйственной деятельности. Различия показателей для частей бассейна в пределах КНР, КНДР и РФ позволяют наметить потенциальные направления сотрудничества в области природопользования, экономической и природоохранной деятельности.

## Заключение

Трансграничный бассейн р. Туманная характеризуется достаточно высоким уровнем естественной защищенности территории. В первую очередь это подтверждается высокой долей естественных типов использования земель в пределах всех выделенных бассейнов. Об этом также свидетельствует баланс в распределении антропогенной нагрузки по территории бассейна и относительная устойчивость территории.

Среднее значение коэффициента естественной защищенности составляет 0.9, что значительно выше критического уровня (0.5).

В периферийных частях бассейна, в высокогорных районах КНР и КНДР, отмечается наибольшее значение коэффициента естественной защищенности.

Для большинства бассейнов притоков I, II и III порядка характерно разнообразие, сложность и дробность структуры использования земель. Это подтверждается значениями ряда количественных показателей. Так, для припойменной центральной части бассейна характерны наибольшие значения энтропийной меры сложности, а также производных показателей. Высокие значения относительной организации ландшафта и коэффициента ландшафтной раздробленности в этой части бассейна подтверждают освоенность территории и развитость инфраструктуры. Индекс Маргалёфа, характеризующий разнообразие структуры землепользования, имеет более высокие значения в пределах КНР, для КНДР характерны наименьшие его значения.

В силу того, что российская часть занимает менее 1 % бассейна р. Туманная и находится

в непосредственной близости к государственной границе, значения многих показателей выделяются на фоне всего бассейна. Так, значения коэффициента сложности, энтропийной меры сложности ландшафтного рисунка и ее производных, выравненности рангового распределения и относительной организации, а также индекса Маргалефа приближены к средним значениям или являются наименьшими среди всех участков бассейна. В свою очередь, индекс дробности и коэффициент ландшафтной раздробленности имеют высокие показатели в силу разорванности многих полигонов использования земель государственной границей и границей бассейна. Высокое значение коэффициента естественной защищенности подтверждает относительную устойчивость территории.

Таким образом, периферийная, более горная часть бассейна, занятая лесными землями, менее подверженными антропогенному воздействию, является сбалансированным естественным каркасом территории. Так как бассейн является единой геосистемой, проявление хозяйственной деятельности в пределах КНР и КНДР сказывается на российской приустьевой части бассейна, а также в пределах акватории в непосредственной близости к государственной границе [1]. Можно отметить, что более освоенная и развитая припойменная часть притоков и русла р. Туманная в пределах трех стран требует большего внимания и контроля за деятельностью. В данном случае именно бассейновый подход является определяющим в разработке международной региональной политики в пределах трансграничной территории. В настоящее время на исследуемой трансграничной территории уже существуют несколько направлений сотрудничества – транспортное, экономическое, природоохранное. В дальнейшем исследовании планируется оценить возможности развития международных отношений на основе анализа структуры использования земель в пределах бассейна р. Туманная.

### Список литературы

1. Тищенко П.Я., Семкин П.Ю., Павлова Г.Ю., Тищенко П.П., Лобанов, В.Б., Марьяш А.А., Михайлик Т.А., Сагалаев С.Г., Сергеев А.Ф., Тибенко Е.Ю.

- и др. **2018**. Гидрохимия эстуария реки Туманной (Японское море). *Океанология*, 58(2): 192–204. doi:10.7868/S003015741802003X; EDN: XMRPXN
2. Корытный Л.М. **2017**. Бассейновая концепция: от гидрологии к природопользованию. *География и природные ресурсы*, 2: 5–16. EDN: YSKUWF
3. Бакланов П.Я., Ганзей С.С. **2008**. *Трансграничные территории: проблемы устойчивого природопользования*. Владивосток: Дальнаука, 216 с. URL: [https://www.studmed.ru/baklanov-pya-ganzei-ss-transgranichnye-territorii-problemy-ustoychivogo-prirodopolzovaniya\\_2fc359a8068.html](https://www.studmed.ru/baklanov-pya-ganzei-ss-transgranichnye-territorii-problemy-ustoychivogo-prirodopolzovaniya_2fc359a8068.html)
4. Каширская А.В. **2014**. Роль Дальнего Востока России в региональном сотрудничестве стран Северо-Восточной Азии. *Общество. Среда. Развитие*, 2(31): 65–69. EDN: QLHNJQ
5. Бакланов П.Я., Ганзей С.С., Качур А.Н. (ред.) **2002**. *Трансграничный диагностический анализ: RAS/98/G31. Программа развития ООН. Фонд Global Environment Facility. Стратегическая программа действий для р. Туманной*. Владивосток: Дальнаука, 253 с.
6. Николаев В.А. **2006**. *Ландшафтоведение: семинарские и практические занятия*. М.: Геогр. факультет МГУ, 208 с.
7. Маслова М.Н. **2022**. Структура использования земель бассейна реки Туманная. *Успехи современного естествознания*, 8: 52–58. <https://doi.org/10.17513/use.37868>; EDN: PQQVWV
8. Кочуров Б.И. **1999**. *Геоэкология: экодиагностика и эколого-хозяйственный баланс территории*. Смоленск: СГУ, 154 с. URL: <http://www.rpp-msu.ru/workspace/uploads/files/kochurov-bi-geoekologiya-ekodi-5dcfbb9fbba64.pdf>
9. Викторов А.С. **1986**. *Рисунок ландшафта*. М.: Мысль, 177 с.
10. Маргалеф Р. **1992**. *Облик биосферы*. М.: Наука, 215 с.
11. Пузаченко Ю.Г. **2004**. *Математические методы в экологических и географических исследованиях*. М.: Academia, 407 с. URL: <https://www.geokniga.org/books/11573>
12. Соколов А.С. **2014**. Ландшафтное разнообразие: теоретические основы, подходы и методы изучения. *Геополитика и экогеодинамика регионов*, 10(1): 208–213. EDN: VQDVPRX
13. Геренчук К.И., Гораш И.К., Топчиев А.Г. **1969**. Методика определения некоторых параметров морфологической структуры ландшафтов. *Известия АН СССР. Сер. геогр.*, 5: 102–109.
14. Плюсин В.М. **2003**. *Ландшафтный анализ горных территорий*. Иркутск: Изд-во Ин-та географии СО РАН, 257 с. EDN: ТВАЖКР
15. Пузаченко Ю.Г., Дьяконов К.Н., Алещенко Г.М. **2002**. Разнообразие ландшафта и методы его измерения. В кн.: *География и мониторинг биоразнообразия*. М.: Изд-во НУМЦ, с. 76–163.

16. Позаченюк Е.А., Агиенко А.А. **2017**. Оценка ландшафтного разнообразия Алуштинского амфитеатра. *Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. География. Геология*, 3(69), 2: 102–116. EDN: YLMCZ
17. Черных Д.В. **2011**. Количественная оценка сложности и разнообразия ландшафтного покрова Русского Алтая. *Известия Алтайского государственного университета. Биол. науки*, 3-2(71): 60–65. EDN: OKLTTL
7. Maslova M.N. **2022**. Structure of land use in the Tumannaya river basin. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya = Advances in Current Natural Sciences*, 8: 52–58. (In Russ.). <https://doi.org/10.17513/use.37868>
8. Kochurov B.I. **1999**. [*Geoecology: ecodiagnosics and ecological and economic balance of the territory*]. Smolensk: SGU Publ., 154 p. (In Russ.).
9. Viktorov A.S. **1986**. [*Landscape pattern*]. Moscow: Mysl', 177 p. (In Russ.).
10. Margalef R. **1992**. [*The appearance of the biosphere*]. Moscow: Nauka, 215 p. (In Russ.).

## References

1. Tishchenko P.Ya., Semkin P.Yu., Pavlova G.Yu., Tishchenko P.P., Lobanov V.B., Marjash A.A., Mikhailik T.A., Sagalaev S.G., Sergeev A.F., Tibenko E.Yu. et al. **2018**. Hydrochemistry of the Tumen River estuary, Sea of Japan. *Oceanology*, 58(2): 175–186. <https://doi.org/10.1134/s0001437018010149>
2. Korytny L.M. **2017**. Basin concept: from hydrology to nature management. *Geography and Natural Resources*, 38(2): 111–121. <https://doi.org/10.1134/s1875372817020019>
3. Baklanov P.Ya., Ganzey S.S. **2008**. *Trans-boundary territories: the problems of sustainable nature use*. Vladivostok: Dalnauka, 216 p. (In Russ.). URL: [https://www.studmed.ru/baklanov-pya-ganzey-ss-transgranichnye-territorii-problemy-ustoychivogo-prirodopolzovaniya\\_2fc359a8068.html](https://www.studmed.ru/baklanov-pya-ganzey-ss-transgranichnye-territorii-problemy-ustoychivogo-prirodopolzovaniya_2fc359a8068.html)
4. Kashirskaya A.V. **2014**. [The role of the Russian Far East in the regional cooperation of the countries of Northeast Asia]. *Obshchestvo. Sreda. Razvitie = Terra Humana*, 2: 65–69. (In Russ.).
5. Baklanov P.Ya., Ganzey S.S., Kachur A.N. (Eds) **2002**. [*Transboundary diagnostic analysis: Tumen River Strategic Action Program (RAS/98/G31. United Nations Development Program. Global Environment Facility Foundation)*]. Vladivostok: Dalnauka, 231 p. (In Russ.).
6. Nikolaev V.A. **2006**. [*Landscape science: Seminars and practical classes*]. Moscow: Faculty of Geography of Moscow State University, 208 p. (In Russ.).
11. Puzachenko Yu.G. **2004**. [*Mathematical methods in ecological and geographical research*]. Moscow: Academia, 407 p. (In Russ.).
12. Sokolov A.S. **2014**. Landscape diversity: theoretical bases, approaches and studying methods. *Geopolitika i ekogeodinamika regionov = Geopolitics and Ecogeodynamics of Regions*, 10(1): 208–213. (In Russ.).
13. Gerenchuk K.I., Gorash I.K., Topchiev A.G. **1969**. [Methods for determining some parameters of the morphological structure of landscapes]. *Izvestiya AN SSSR. Geography Series*, 5: 102–109. (In Russ.).
14. Plyusnin V. M. **2003**. *Landscape analysis of mountain areas*. Irkutsk: Publ. House of the Institute of Geography SB RAS, 257 p. (In Russ.). EDN: TBAJKP
15. Puzachenko Yu.G., D'yakonov K.N., Aleshchenko G.M. **2002**. [Landscape diversity and methods of its measurement]. In: *Geography and monitoring of biodiversity*. Moscow: NUMC: 76–163. (In Russ.).
16. Pozachenyuk E.A., Agienko A.A. **2017**. Assessment of the landscape diversity of Alushta amphitheater. *Uchyonye zapiski Krymskogo federal'nogo universiteta imeni V.I. Vernadskogo. Geografiya. Geologiya. = Scientific notes of the V.I. Vernadsky Crimean Federal University. Geography. Geology*, 3(69), no. 2: 102–116. (In Russ.). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-landshaftnogo-raznoobraziya-alushtinskogo-amfiteatra/viewer>
17. Chernykh D.V. **2011**. Quantitative assessment of complexity and landscape diversity of the Russian Altai. *Izvestiya of Altai State University*, 3-2(71): 60–65. (In Russ.).

## Об авторе

**Маслова Марина Николаевна** (<https://orcid.org/0009-0008-5916-8779>), младший научный сотрудник Информационно-картографического центра, Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, Владивосток, Россия, [maslova.marina.99@mail.ru](mailto:maslova.marina.99@mail.ru)

Поступила 17.07.2023

Принята к публикации 13.09.2023

## About the Author

**Maslova, Marina N.** (<https://orcid.org/0009-0008-5916-8779>), Junior Researcher of the Information and Cartographic Center, Pacific Geographical Institute of the Far Eastern Branch of RAS, Vladivostok, [maslova.marina.99@mail.ru](mailto:maslova.marina.99@mail.ru)

Received 17 July 2023

Accepted 13 September 2023