

ISSN 1819-7663 (Print)  
ISSN 2542-1921 (Online)

# ИЗВЕСТИЯ САРАТОВСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

Новая серия

Серия: Науки о Земле

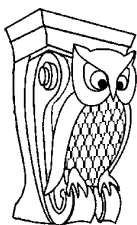
2023

Том 23

Выпуск 1



IZVESTIYA OF SARATOV UNIVERSITY  
EARTH SCIENCES



Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского»

# ИЗВЕСТИЯ САРАТОВСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

Новая серия

Серия Науки о Земле, выпуск 1

Продолжение «Известий Императорского Николаевского Университета» 1910–1918, «Ученых записок СГУ» 1923–1962,  
«Известий Саратовского университета. Новая серия» 2001–2004



Научный журнал  
2023 Том 23

ISSN 1819-7663 (Print)  
ISSN 2542-1921 (Online)

Издаётся с 2006 года

## СОДЕРЖАНИЕ

### Научный отдел

#### География

- Конопацкова О. М., Макаров В. З., Евдокимов Г. М.,  
Решетарова Д. А., Кустодов С. В., Черчинцева Е. А.**  
Медико-географический анализ заболеваемости колоректальным раком 4
- Мами Магбини Токпа, Лобанов В. А., Короткова Н. В.**  
Оценка будущих температур воздуха Центральной Африки по сценариям проектов  
CMIP5 и CMIP6 8

#### Геология

- Зорина С. О., Афанасьева Н. И., Хамада Н.,  
Никашин К. И., Сокерин М. Ю.**  
Кварцевые песчаники сосновской толщи палеогена Ульяновско-Сызранского  
Поволжья (восток Русской плиты): вещественный состав и происхождение 21
- Mohammad N., Namada N.**  
Lithofacies interpretation at the upper part of the Pokurskaya formation  
in the Cenomanian succession, the north of the West Siberian Basin  
[Мохаммад Н., Хамада Н. Литофациальная интерпретация сеноманских отложений  
на севере западно-сибирского нефтегазоносного бассейна] 31
- Первушов Е. М.**  
Биогенная составляющая фосфоритового горизонта среднего турона в разрезе  
Сеноманская стенка. Статья 2. Биостратиграфический анализ 39
- Первушов Е. М.**  
Колониальная Leptophragmidae (Porifera, Hexactinellida) из нижнего сантона  
Поволжья 53
- Харитонов А. Л.**  
Результаты вероятностно-корреляционного анализа геолого-геофизических данных  
на территории Скифской и Прикаспийской морфоструктур для оценки перспектив  
нефтегазоносных областей 61

Журнал «Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия «Науки о Земле»» зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций.

Запись о регистрации СМИ ПИ № ФС77-76643 от 26 августа 2019 года

Журнал включен в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук (категория К2, специальность: 1.6.1, 1.6.2, 1.6.9, 1.6.12, 1.6.13, 1.6.18, 1.6.20, 1.6.21)

Подписной индекс издания 36010. Подписку на печатные издания можно оформить в Интернет-каталоге ГК «Урал-Пресс» (ural-press.ru). Журнал выходит 4 раза в год. Цена свободная. Электронная версия находится в открытом доступе (geo.sgu.ru)

**Директор издательства**  
Бучко Ирина Юрьевна

**Редактор**  
Малютина Елена Анатольевна

**Художник**  
Соколов Дмитрий Валерьевич

**Редактор-стилист**  
Агафонов Андрей Петрович

**Верстка**  
Степанова Наталия Ивановна

**Технический редактор**  
Каргин Игорь Анатольевич

**Корректор**  
Малютина Елена Анатольевна

**Адрес учредителя, издателя и издательства (редакции):**  
410012, Саратов, ул. Астраханская, 83  
**Тел.:** +7(845-2) 51-29-94, 51-45-49, 52-26-89  
**E-mail:** publ@sgu.ru, izdat@sgu.ru

Подписано в печать 21.03.23.  
Подписано в свет 31.03.23.  
Формат 60 × 84 1/8.  
Усл. печ. л. 8.37 (9.0).  
Тираж 100 экз. Заказ 6-Т.

Отпечатано в типографии  
Саратовского университета.  
**Адрес типографии:**  
410012, Саратов, Б. Казачья, 112А

© Саратовский университет, 2023



## ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

Журнал «Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия Науки о Земле» принимает к публикации на русском языке общетеоретические, методические, дискуссионные, критические статьи, результаты исследований в области наук о Земле, краткие сообщения и рецензии, а также хронику и информацию.

Объем публикуемой статьи не должен превышать 16 страниц, 5 рисунков и 4 таблиц.

Статья должна быть аккуратно оформлена и тщательно отредактирована.

Последовательность предоставления материала:

– на русском языке: индекс УДК, название статьи, инициалы и фамилии авторов, сведения об авторах (ученая степень, должность и место работы, e-mail), аннотация, ключевые слова, текст статьи, благодарности, ссылки на гранты, библиографический список;

– на английском языке: название статьи, инициалы и фамилии авторов, ORCID, место работы (вуз, почтовый адрес), e-mail, аннотация, ключевые слова.

Отдельным файлом приводятся сведения о статье: раздел журнала, УДК, авторы и название статьи (на русском и английском языках); сведения об авторах: фамилия, имя и отчество (полностью), e-mail, телефон (для ответственного за переписку обязательно указать сотовый или домашний). Если название статьи слишком длинное, то для колонтитула следует привести его краткий вариант.

Иллюстрации и таблицы должны быть представлены отдельным файлом в формате jpg, tiff, cdr, bmp, разрешением не меньше 300 dpi. Рисунки должны быть представлены в черно-белом виде.

Все материалы предоставляются как в бумажном, так и электронном виде.

Требования к аннотации и библиографическому списку:

– аннотация должна отражать основную суть публикации; оптимальный объем 500–600 знаков;

– в библиографическом списке должны быть указаны только процитированные в статье работы; ссылки на неопубликованные работы не допускаются.

Более подробная информация о правилах оформления статей, образцы оформления различных источников приведены вместе со стилевым файлом по адресу: [www.geo.sgu.ru](http://www.geo.sgu.ru).

Датой поступления статьи считается дата поступления ее окончательного варианта. Возвращенная на доработку статья должна быть прислана в редакцию не позднее чем через три месяца. Возвращение статьи на доработку не означает, что статья будет опубликована, после переработки она вновь будет рецензироваться.

Материалы, отклоненные редколлекцией, не возвращаются.

Адреса для переписки с редколлекцией серии: [geoizvestiya@yandex.ru](mailto:geoizvestiya@yandex.ru); 410012, г. Саратов, ул. Астраханская, 83, географический факультет, ответственному секретарю журнала «Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия Науки о Земле».

## CONTENTS

### Scientific Part

#### Geography

**Konopatskova O. M., Makarov V. Z., Evdokimov G. M., Reshetarova D. A., Kustodov S. V., Cerhinceva E. A.**  
Medico-geographical analysis of the incidence of colorectal cancer 4

**Mami Magbini Tokpa, Lobanov V. A., Korotkova N. V.**  
Assessment of future Central African air temperatures under the CMIP5 and CMIP6 project scenarios 8

#### Geology

**Zorina S. O., Afanasieva N. I., Hamada N., Nikashin K. I., Sokerin M. Yu.**  
Paleogene quartz sandstones of the Sosnovka Formation of the Uljanovsk-Syzran Volga region (Eastern Russian Platform): Mineral composition and origin 21

**Mohammad N., Hamada N.**  
Lithofacies interpretation at the upper part of the Pokurskaya formation in the Cenomanian succession, the north of the West Siberian Basin 31

**Pervushov E. M.**  
The biogenic component of the Middle Turonian phosphorite horizon from the Senomanskaya Stenka section. Paper 2. Biostratigraphical analysis 39

**Pervushov E. M.**  
Colonial Leptophragmidae (Porifera, Hexactinellida) from the Lower Santonian of the Volga region 53

**Kharitonov A. L.**  
The results of the probabilistic correlation analysis of geological and geophysical data on the territory of the Scythian and Pre-Caspian morphological structures to assess the prospects of oil and gas-bearing areas 61



**РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ ЖУРНАЛА  
«ИЗВЕСТИЯ САРАТОВСКОГО УНИВЕРСИТЕТА. НОВАЯ СЕРИЯ.  
СЕРИЯ: НАУКИ О ЗЕМЛЕ»**

**Главный редактор**

Макаров Владимир Зиновьевич, доктор геогр. наук, профессор (Саратов, Россия)

**Заместитель главного редактора**

Первушов Евгений Михайлович, доктор геол.-минерал. наук, профессор (Саратов, Россия)

**Ответственный секретарь**

Молочко Анна Вячеславовна, кандидат геогр. наук (Саратов, Россия)

**Члены редакционной коллегии:**

Горбатенко Валентина Петровна, доктор геогр. наук, профессор (Томск, Россия)

Гужиков Андрей Юрьевич, доктор геол.-минерал. наук, профессор (Саратов, Россия)

Диденко Алексей Николаевич, доктор геол.-минерал. наук, член-корреспондент РАН (Хабаровск, Россия)

Казанский Алексей Юрьевич, доктор геол.-минерал. наук, профессор (Москва, Россия)

Калинин Николай Александрович, доктор геогр. наук, профессор (Пермь, Россия)

Катровский Александр Петрович, доктор геогр. наук, профессор (Смоленск, Россия)

Коробов Александр Дмитриевич, доктор геол.-минерал. наук, профессор (Саратов, Россия)

Носонов Артур Модестович, доктор геогр. наук, профессор (Саранск, Россия)

Переведенцев Юрий Петрович, доктор геогр. наук, профессор (Казань, Россия)

Семенов Юрий Михайлович, доктор геогр. наук, профессор (Иркутск, Россия)

Хоецян Ашот Владимирович, доктор геогр. наук, профессор (Ереван, Армения)

Чумаченко Алексей Николаевич, доктор геогр. наук, профессор (Саратов, Россия)

Шурыгин Борис Николаевич, доктор геол.-минерал. наук, профессор, член-корреспондент РАН (Новосибирск, Россия)

Яковенко Наталия Владимировна, доктор геогр. наук, доцент (Воронеж, Россия)

**EDITORIAL BOARD OF THE JOURNAL  
“IZVESTIYA OF SARATOV UNIVERSITY.  
EARTH SCIENCES”**

**Editor-in-Chief** – Vladimir Z. Makarov (Saratov, Russia)

**Deputy Editor-in-Chief** – Evgeniy M. Pervushov (Saratov, Russia)

**Executive secretary** – Anna V. Molochko (Saratov, Russia)

**Members of the Editorial Board:**

Valentina P. Gorbatenko (Tomsk, Russia)

Andrey Yu. Guzhikov (Saratov, Russia)

Aleksey N. Didenko (Khabarovsk, Russia)

Aleksei Yu. Kazanskii (Moscow, Russia)

Nikolay A. Kalinin (Perm, Russia)

Aleksandr P. Katrovskii (Smolensk, Russia)

Aleksandr D. Korobov (Saratov, Russia)

Artur M. Nosonov (Saransk, Russia)

Yurij P. Perevedentsev (Kazan, Russia)

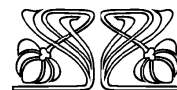
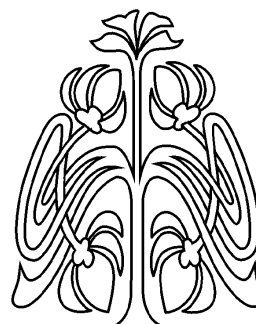
Yuriy M. Semenov (Irkutsk, Russia)

Ashot V. Khoetsyan (Erevan, Armenia)

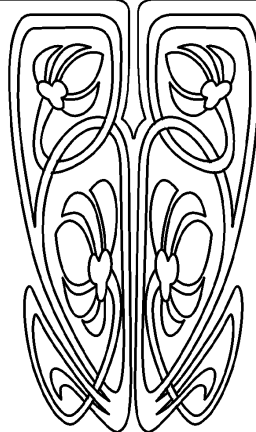
Aleksey N. Chumachenko (Saratov, Russia)

Boris N. Shurygin (Novosibirsk, Russia)

Nataliya V. Yakovenko (Voronezh, Russia)



**РЕДАКЦИОННАЯ  
КОЛЛЕГИЯ**





## ГЕОГРАФИЯ

Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Науки о Земле. 2023. Т. 23, вып. 1. С. 4–7

*Izvestiya of Saratov University. Earth Sciences*, 2023, vol. 23, iss. 1, pp. 4–7

<https://geo.sgu.ru>

<https://doi.org/10.18500/1819-7663-2023-23-1-4-7>, EDN: ULKEDK

Научная статья

УДК [616-006.8+616-036.2:91(470.44)]

### Медико-географический анализ заболеваемости колоректальным раком

О. М. Конопацкова<sup>1</sup>, В. З. Макаров<sup>2✉</sup>, Г. М. Евдокимов<sup>1</sup>, Д. А. Решетарова<sup>2</sup>,  
С. В. Кустодов<sup>1</sup>, Е. А. Черчинцева<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Саратовский государственный медицинский университет имени В. И. Разумовского, Россия, 410012, г. Саратов, ул. Большая Казачья, д. 112

<sup>2</sup>Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, Россия, 410012, г. Саратов, ул. Астраханская, д. 83

<sup>3</sup>ГУЗ Областной клинический онкологический диспансер, Россия, 410053, г. Саратов, мр-н Смирновское ущелье, д. 1В

Конопацкова Ольга Михайловна, доктор медицинских наук, профессор, [o.konopatskova@mail.ru](mailto:o.konopatskova@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-2123-4730>

Макаров Владимир Зиновьевич, доктор географических наук, профессор, [makarovvz@rambler.ru](mailto:makarovvz@rambler.ru), <https://orcid.org/0000-0003-0505-5257>

Евдокимов Гермоген Михайлович, кандидат медицинских наук, доцент, [germogenm@mail.ru](mailto:germogenm@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-1640-669X>

Решетарова Даниэлла Александровна, старший преподаватель, [reshetarova\\_dana@mail.ru](mailto:reshetarova_dana@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-7335-5051>

Кустодов Сергей Владимирович, студент 6-го курса лечебного факультета, [skustodov@yandex.ru](mailto:skustodov@yandex.ru), <https://orcid.org/0000-0003-3329-4220>

Черчинцева Елена Анатольевна, заместитель главного врача, [guzood-omk2017@yandex.ru](mailto:guzood-omk2017@yandex.ru), <https://orcid.org/0000-0001-9730-1712>

**Аннотация.** В статье приведены результаты медико-географического исследования заболеваемости колоректальным раком в Саратове. Проведен статистический анализ по заболеваемости, выполнен онко-географический анализ урболандшафтных участков жилой застройки. Изучение региональных особенностей распространения данной патологии с учетом факторов риска поможет в разработке направления по активному поиску заболевших.

**Ключевые слова:** колоректальный рак, онко-география, геоинформационное картографирование, урболандшафтный участок, Саратов

**Для цитирования:** Конопацкова О. М., Макаров В. З., Евдокимов Г. М., Решетарова Д. А., Кустодов С. В., Черчинцева Е. А. Медико-географический анализ заболеваемости колоректальным раком // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Науки о Земле. 2023. Т. 23, вып. 1. С. 4–7. <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2023-23-1-4-7>, EDN: ULKEDK

Статья опубликована на условиях лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY 4.0)

Article

#### Medico-geographical analysis of the incidence of colorectal cancer

О. М. Konopatskova<sup>1</sup>, В. З. Makarov<sup>2✉</sup>, Г. М. Evdokimov<sup>1</sup>, Д. А. Reshetarova<sup>2</sup>,  
С. В. Kustodov<sup>1</sup>, Е. А. Cerchinceva<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Saratov State Medical University named after V. I. Razumovskiy, 112 Bolshaya Kazachia St., Saratov 410012, Russia

<sup>2</sup>Saratov State University, 83 Astrakhanskaya St., Saratov 410012, Russia

<sup>3</sup>State Healthcare Institution "Regional Clinical Oncological Dispensary", 1B Smirnovskoe ushchel'e district, Saratov 410053, Russia

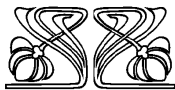
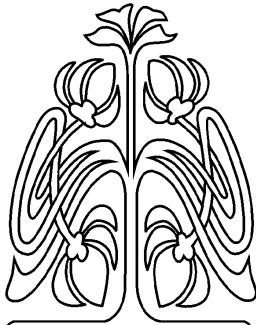
Olga M. Konopatskova, [o.konopatskova@mail.ru](mailto:o.konopatskova@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-2123-4730>

Vladimir Z. Makarov, [makarovvz@rambler.ru](mailto:makarovvz@rambler.ru), <https://orcid.org/0000-0003-0505-5257>

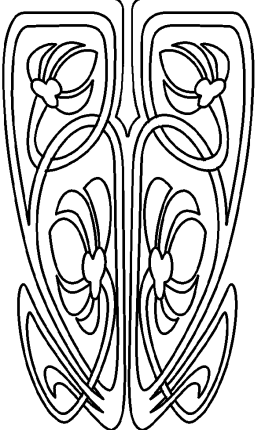
Germogen M. Evdokimov, [germogenm@mail.ru](mailto:germogenm@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-1640-669X>

Daniella A. Reshetarova, [reshetarova\\_dana@mail.ru](mailto:reshetarova_dana@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-7335-5051>

© Конопацкова О. М., Макаров В. З., Евдокимов Г. М.,  
Решетарова Д. А., Кустодов С. В., Черчинцева Е. А., 2023



НАУЧНЫЙ  
ОТДЕЛ





Sergey V. Kustodov, skustodov@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3329-4220>  
Elena A. Cerchinceva, guzood-omk2017@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9730-1712>

**Abstract.** The article discusses the issues of territorial prevalence of colorectal cancer in Saratov. A statistical analysis of morbidity and an onco-geographical analysis of urban landscape sites were carried out. The study of the regional features of the spread of this pathology, taking into account risk factors, will help in the development of the direction for the active search for patients.

**Keywords:** colorectal cancer, oncology, geoinformation mapping, urban landscape plot, Saratov

**For citation:** Konopatskova O. M., Makarov V. Z., Evdokimov G. M., Reshetarova D. A., Kustodov S. V., Cerchinceva E. A. Medico-geographical analysis of the incidence of colorectal cancer. *Izvestiya of Saratov University. Earth Sciences*, 2023, vol. 23, iss. 1, pp. 4–7 (in Russian). <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2023-23-1-4-7>, EDN: ULKEDK

This is an open access article distributed under the terms of Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC-BY 4.0)

## Постановка проблемы

Понятие колоректальный рак (КРР) объединяет такие локализации, как новообразования ободочной кишки, ректосигмоидного отдела, прямой кишки и анального отдела. Заболеваемость им в последние десятилетия практически во всех странах мира имеет тенденцию к росту [1–5]. Распространенность (численность контингента больных на 100 000 населения) рака ободочной кишки в РФ за период с 2011 по 2021 г. колебалась от 111,9 до 161,0; рака прямой кишки, соответственно, от 87,3 до 121,1. Индекс накопления в 2021 г. составил: при раке ободочной кишки 7,1, при раке прямой кишки 6,9. Удельный вес рака ободочной кишки в I–II стадии из числа впервые выявленных злокачественных новообразований в России в 2021 г. равен 50,4%, а рака прямой кишки – 49,5% [6]. В Саратовской области показатель общей онкологической заболеваемости в 2021 г. составил 437,5 на 100 000 населения (РФ 2020 г. – 379,7). Одними из ведущих локализаций в структуре заболеваемости злокачественными новообразованиями населения области являются новообразования ободочной кишки (7,2%) и прямой кишки (5,5%) [7].

Основными факторами риска КРР являются [2, 8]: единичные и множественные аденомы кишки; воспалительные заболевания кишки; неспецифический язвенный колит; болезнь Крона. Особенности питания: увеличение в рационе содержания мяса, уменьшение клетчатки и животного жира. Заболевание могут стимулировать соли жёлчных кислот (состояние после холецистэктомии). Возможна наследственная передача: на фоне семейного полипоза толстой кишки и ассоциированного с синдромом наследственного непוליпозного рака. Показана и определённая взаимосвязь между курением и умеренным риском КРР. Чаще эта патология встречается в возрасте старше 60 лет.

Во многих работах, посвященных факторам риска злокачественных новообразований, отмечается влияние неблагоприятных факторов внешней среды. К настоящему времени доказано, что для ряда злокачественных новообразований, таких как рак легкого, щитовидной железы, кожи и других, подобные факторы встречаются

довольно часто [9–11]. Медико-географическое исследование при ряде злокачественных новообразований и соответствующий мониторинг указывают, что это довольно сложный процесс [12]. Естественно, что в окружающей среде присутствует большое разнообразие веществ в разных концентрациях, распределяющихся в среде города неоднородно. Эпидемиологическая оценка заболеваемости КРР по регионам мира показывает, что он может характеризоваться географическими особенностями: полагают, что он больше характерен для индустриальных стран [2, 13]. Изучение зависимости популяционного риска КРР от факторов экзогенного воздействия подтверждает тот факт, что в формировании уровня заболеваемости имеет место и растущее антропогенное воздействие [14].

Известно достаточно вариантов скрининга при КРР [10]. В большей степени они представлены инструментально-диагностическими методами. Для выбора рационального скрининг-теста необходимо оценить индивидуальный риск человека [13]. Не менее интересным является вариант онко-географического скрининга. Сопоставление в определенных районах таких факторов, как природные условия, экологические, демографические и медицинские дает возможность оценить медико-экологическую ситуацию в них [9, 10]. Помимо стандартных методик скрининга, онко-географический вариант дает возможность определить ситуацию в конкретном месте проживания. Дополнительные сведения о причинах возникновения рака в условиях экологического загрязнения канцерогенными веществами помогают разработке более совершенных и менее длительных путей ранней диагностики [10].

## Задачи исследования

Авторы поставили перед собой следующие задачи:

- рассмотреть заболеваемость колоректальным раком в Саратове в начале 2010-х годов и десятилетием позже;
- оценить динамику роста заболеваемости по возрасту и полу заболевших;
- представить онко-географическую картину заболеваемости КРР по урбологическим участкам селитбы.



## Материалы и методы.

### Медико-статистические результаты

В процессе многолетнего сотрудничества урбоэкологов Саратовского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского и онкологов Саратовского медицинского университета имени В. И. Разумовского и Саратовского областного онкологического клинического диспансера была создана медико-экологическая геоинформационная система, в которую, кроме блоков градозэкологической информации по урболандшафтным участкам г. Саратова, входит и база данных по заболеваемости колоректальным раком: раком ободочной, прямой кишки, ректосигмоидного соединения и ануса. В базе данных за 2010–2011 гг. занесена информация о 924 больных КРР. Для анализа динамики ситуации по этой патологии взяты аналогичные данные за 2020–2021 гг. За этот период выявлена патология у 1021 человека. Чаще КРР диагностирован у женщин: 505 человек (54,7%) в начале 2010-х гг. и 580 (56,8%) на начало 2020-х гг. Новообразования толстой и прямой кишки встречались преимущественно в возрасте старше 60 лет: у 718 (77,7%) пациентов в 2010–2011 гг. и у 782 (76,6%) в 2020–2021 гг. Поскольку инструментальный скрининг общей популяции для выявления КРР достаточно дорог, а используемые методы малоэффективны, число больных, имеющих метастатическую стадию, остается высоким. Так, в 2010–2011 гг. I–II стадии установлены у 585 (63,3%), III–IV – у 316 (34,2%) человек, а у 23 (2,5%) пациентов стадия не была указана. В 2020–2021 гг. I–II стадии выявлены у 492 (48,2%), III–IV стадии – у 415 (40,6%) и у 114 (11,2%) человек стадия не указана. Поскольку, как уже было указано выше, в понятие колоректальный рак входят новообразования ободочной кишки, ректосигмоидного отдела, прямой кишки и анального отдела, то проанализирована наиболее частая локализация рака в этих отделах. В оба периода (2010–2011 гг. и 2020–2021 гг.) чаще всего рак локализовался в ободочной кишке – 561 (60,7%) и 599 (58,7%) больных соответственно. На втором месте по частоте рак прямой кишки – 272 (29,4%) и 292 (28,6%) соответственно.

Все больные проживали в разных районах Саратова. Места проживания пациентов картографированы. По результатам исследования созданы карты заболеваемости по урболандшафтным участкам жилой застройки г. Саратова. Построенные на основе этих данных карты распространения КРР позволили сопоставить изменения заболеваемости в разных районах города.

### Результаты медико-географического анализа

Был проведен сравнительный медико-географический анализ заболеваемости КРР по урболандшафтным участкам селитбы за 2010–2011 гг. и 2020–2021 гг.

Пространственная картина заболеваемости КРР в начале 2010-х гг. была следующей.

**Заводской район. Южная субкотловина.** В 2010 г. в южной прибрежной части Заводского района в малоэтажных преимущественно с частной одноэтажной застройкой поселках *Нефтяной, Береговой Увек и Новый Увек* зафиксированы четыре случая заболевания КРР. В 2011 г. новых заболеваний не обнаружено. В 2020 г. и 2021 г. в указанных выше поселках было обнаружено за два года пять случаев. Малое количество заболевших обусловлено как малочисленностью населения в этих поселках, так и относительно благоприятными условиями проживания: обилие фруктов и овощей, получаемых с собственных земельных участков, расположение на берегу водохранилища, вдали от оживленных магистралей. В поселках Комсомольский, Новый Комсомольский, Нижняя и Верхняя Стрелковки, Есиповка, Пролетарка, Рокотовка, Муравлевка, Лесопильный, Юриш, пл. Орджоникидзе, находящихся в Центральной и северной части Южной субкотловины и имеющих разноэтажную и разнокомфортную градостроительную среду и в целом, неблагоприятную градозэкологическую ситуацию число патологий возрастает от 33–46 случаев в 2010–2011 гг. до 46–58 в 2020–2021 гг.

**В Северной субкотловине в исторической части города в Октябрьском, Фрунзенском, Кировском и Волжском административных районах** со среднеэтажной, местами многоэтажной застройкой, с плотной сеткой улиц и атмосферицически неблагоприятной ситуацией проживает около 40% населения. Там зафиксировано от 112 (2021 г.) до 134 (2021 г.) случаев заболеваемости КРР.

**Заболеваемость в крупнейшем по населению Ленинском районе Саратова, расположенном на Елианско-Гусельской равнине** (33% населения города) и имеющем крупнейшие плотно населенные спальные многоэтажные микрорайоны и поселки, колеблется от 93 (2010 г.) до 130 (2021 г.) случаев патологии.

Медико-географический анализ заболеваемости колоректальным раком показал, что частота его не зависит от градозэкологической ситуации в тех или иных урболандшафтных участках и характера городской застройки. Неодинаковая частота распределения рака ободочной, прямой кишки, ректосигмоидного соединения и ануса показывает, что имеющиеся различия местных условий, способствующие или препятствующие реализации факторов онкологического риска, в основном зависят от возраста, характера и качества пищи, качества питьевой воды, бытовых привычек, общего состояния здоровья человека. В настоящее время проводятся дополнительные уточняющие исследования.

Отмеченные факторы риска могут быть основой для дальнейшего целенаправленного



поиска патологии ободочной, прямой кишки, ректосигмоидного соединения и ануса в определенных урбандшафтных участках города с привлечением врачей первого контакта. Учитывая особенности онко-географического распространения КРР в городе, считаем возможным рекомендовать в ряде районных поликлиник проводить профилактические осмотры населения в группах риска, а именно среди лиц, имеющих хроническую патологию желудочно-кишечного тракта, особенно толстой и прямой кишки.

### Заключение

Выполненный онкогеографический анализ заболеваемости КРР позволяет сделать некоторые выводы.

1. Более 75% заболевших КРР приходится на возрастную группу старше 60 лет.
2. Свыше половины заболевших КРР приходится на женщин.
3. Заболеваемость КРР в Саратове с начала 2010-х гг. выросла к 2021 г. по разным урбандшафтным участкам от 1,15 до 1,7 раза.
4. Медико-географический анализ заболеваемости колоректальным раком показал, что частота его случаев не зависит от градоэкологической ситуации в тех или иных урбандшафтных участках и характера городской застройки. Тем не менее в комплексе с другими скрининг-тестами онко-географический вариант КРР является достаточно перспективным современным направлением активного поиска.

### Библиографический список

1. Осомбаев М. Ш., Джекшиенов М. Д., Сатыбалдиев О. А., Абдрасулов К. Д., Макимбетов Э. К., Кузиков М. А. Эпидемиология колоректального рака. Научное обозрение // Медицинские науки. 2021. № 1. С. 37–42.
2. Старостин Р. А., Гатауллин Б. И., Валитов Б. Р., Гатауллин И. Г. Колоректальный рак: эпидемиология и факторы риска // Поволжский онкологический вестник. 2021. Т. 12, № 4. С. 52–60.
3. Arnold M., Sierra M. S., Laversanne M., Soerjomataram I., Jemal A., Bray F. Global patterns and trends in colorectal cancer incidence and mortality // Gut. 2017. Vol. 66, № 4. P. 683–691. <https://doi.org/10.1136/gutjnl-2015-310912>
4. Sung H., Ferlay J., Siegel R. L., Laversanne M., Soerjomataram I., Jemal A., Bray F. Global Cancer Statistics

- 2020: GLOBOCAN Estimates of Incidence and Mortality Worldwide for 36 Cancers in 185 Countries // CA Cancer J. Clin. 2021. Vol. 71, № 3. P. 209–249. <https://doi.org/10.3322/caac.21660>
5. Xi Y., Xu P. Global colorectal cancer burden in 2020 and projections to 2040 // Transl. Oncol. 2021. Vol. 14, № 10. P. 101–174. <https://doi.org/10.1016/j.tranon.2021.101174>
6. Каприн А. Д. Состояние онкологической помощи населению России в 2021 году / под редакцией А. Д. Каприн, В. В. Старинского, А. О. Шахзадовой. Москва : МНИОИ имени П. А. Герцена – филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России, 2022. 239 с.
7. Итоги работы онкологической службы Саратовской области в 2021 г. / ГУЗ Областной клинический онкологический диспансер. Саратов, 2022. 53 с.
8. Вертянкин С. В., Конопацкова О. М., Евдокимов Г. М. Диагностика и тактика при онкологических заболеваниях: учебное пособие. Саратов : СГМУ, 2017. 117 с.
9. Конопацкова О. М., Макиенко А. А., Евдокимов Г. М., Макаров В. З., Решетарова Д. А. Градоэкологический аспект в анализе заболеваемости раком щитовидной железы в Саратове // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия : Науки о Земле. 2019. Т. 19, вып. 2. С. 83–86. <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2019-19-2-83-86>
10. Конопацкова О. М., Макаров В. З., Евдокимов Г. М. Экологические аспекты рака пищевода и желудка в Саратове // Экспериментальная и клиническая гастроэнтерология. 2015. Т. 114. С. 117.
11. Конопацкова О. М., Макаров В. З., Суворцева О. В., Чумаченко А. Н., Чумаченко Н. А. Геоэкологическая обстановка в Саратове и её возможное влияние на онкологическую заболеваемость населения // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия : Науки о Земле. 2014. Т. 14, вып. 2. С. 5–10. <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2014-14-2-5-10>
12. Душкова Д. О. Медико-экологические аспекты устойчивого развития // Вестник Международной академии наук (русская секция). 2009. Специальный выпуск. С. 73–76. [https://doi.org/10.1458/zosh\(201\)2.03](https://doi.org/10.1458/zosh(201)2.03)
13. Евлютина Ю. В., Драпкина О. М. Наиболее эффективные стратегии скрининга колоректального рака // Профилактическая медицина. 2019. № 1. С. 105–108. <https://doi.org/10.17116/profmed201922011105>
14. Doubeni C. A., Laiyem A. O., Major J. M., Schootman M., Lian M., Park Y., Graubard B. I., Hollenbeck A. R., Sinha R. Socioeconomic status and the risk of colorectal cancer: An analyses of more than a half million adults of the National Institutes of Health AARP Diet and Health // Cancer. 2012. Vol. 118. P. 3636–3644. <https://doi.org/10.1002/cncr.26677>

Поступила в редакцию 20.10.2022; одобрена после рецензирования 10.12.2022; принята к публикации 16.12.2022  
The article was submitted 20.10.2022; approved after reviewing 10.12.2022; accepted for publication 16.12.2022





Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Науки о Земле. 2023. Т. 23, вып. 1. С. 8–20

*Izvestiya of Saratov University. Earth Sciences*, 2023, vol. 23, iss. 1, pp. 8–20

<https://geo.sgu.ru>

<https://doi.org/10.18500/1819-7663-2023-23-1-8-20>, EDN: NBJJYY

Научная статья

УДК 551.583.1



## Оценка будущих температур воздуха Центральной Африки по сценариям проектов CMIP5 и CMIP6

Мами Магбини Токпа<sup>1</sup>, В. А. Лобанов<sup>1✉</sup>, Н. В. Короткова<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Российский государственный гидрометеорологический университет, Россия, 192007, г. Санкт-Петербург, ул. Воронежская, д. 79

<sup>2</sup>Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, Россия, 410012, г. Саратов, ул. Астраханская, д. 83

Мами Магбини Токпа, аспирант, [mtmamy2013@gmail.com](mailto:mtmamy2013@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0003-2960-6666>

Лобанов Владимир Алексеевич, доктор технических наук, профессор, [lobanov@EL6309.spb.edu](mailto:lobanov@EL6309.spb.edu), <https://orcid.org/0000-0002-9904-1034>

Короткова Надежда Владимировна, кандидат географических наук, доцент, [fonadia@yandex.ru](mailto:fonadia@yandex.ru), <https://orcid.org/0000-0002-4635-0036>

**Аннотация.** По результатам исторического эксперимента проектов CMIP5 и CMIP6 оценивается эффективность сценарных оценок (RCP/SSP1 2.6, RCP/SSP2 4.5 и RCP/SSP5 8.5) будущей температуры воздуха для Центральной Африки для глобальных климатических моделей IPSL и BCC. Результаты моделирования этих проектов сравниваются друг с другом и с наблюдениями метеорологических станций в регионе как для исторического экспериментального периода, так и с наблюдениями последних лет для осуществления будущих климатических прогнозов. На основе исторического эксперимента и будущих оценок за последние 16 лет было установлено, что версии моделей проекта CMIP6 не являются более эффективными, чем результаты CMIP5 при сравнении с данными наблюдений. В связи с тем, что различия между данными наблюдений и моделирования имеют систематический характер, результаты сценарных оценок были скорректированы по принципу сходства темпов роста температуры для исторического периода наблюдений и будущего сценарного периода до конца 21 века, который разделен на 3 интервала для оценки средних значений: 2011–2040, 2041–2070 и 2071–2100 гг. Будущие температуры воздуха в Центральной Африке были оценены как для средних значений по территории, так и для температур отдельных метеостанций на основе скорректированных сценарных значений, которые отличались по CMIP5 и CMIP6 не более чем на 0,1°C. Получено, что среднее по территории повышение температуры во все месяцы к концу XXI века достигает 2,0–2,3°C, а по оценкам на отдельных метеостанциях получены пространственные распределения будущих температур, которые показывают наибольший рост на севере региона вблизи Сахеля.

**Ключевые слова:** проекты CMIP5/CMIP6, Центральная Африка, модели IPSL/BCC, сценарии RCP/SSP, температура воздуха

**Для цитирования:** Мами Магбини Токпа, Лобанов В. А., Короткова Н. В. Оценка будущих температур воздуха Центральной Африки по сценариям проектов CMIP5 и CMIP6 // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Науки о Земле. 2023. Т. 23, вып. 1. С. 8–20. <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2023-23-1-8-20>, EDN: NBJJYY

Статья опубликована на условиях лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY 4.0)

Article

### Assessment of future Central African air temperatures under the CMIP5 and CMIP6 project scenarios

Mami Magbini Tokpa<sup>1</sup>, V. A. Lobanov<sup>1✉</sup>, N. V. Korotkova<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Russian State Hydrometeorological University, 79 Voronezhskaya St., St. Petersburg 192007, Russia

<sup>2</sup>Saratov State University, 83 Astrakhanskaya St., Saratov 410012, Russia

Mami Magbini Tokpa<sup>1</sup>, [mtmamy2013@gmail.com](mailto:mtmamy2013@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0003-2960-6666>

Vladimir A. Lobanov<sup>1</sup>, [lobanov@EL6309.spb.edu](mailto:lobanov@EL6309.spb.edu), <https://orcid.org/0000-0002-9904-1034>

Nadezhda V. Korotkova<sup>2</sup>, [fonadia@yandex.ru](mailto:fonadia@yandex.ru), <https://orcid.org/0000-0002-4635-0036>

**Abstract.** Based on the results of the historical experiment of the CMIP5 and CMIP6 projects, the effectiveness of the scenario estimates (RCP/SSP1 2.6, RCP/SSP2 4.5 and RCP/SSP5 8.5) of the future air temperature for Central Africa for the IPSL and BCC global climate models is evaluated and the simulation results of these projects are compared with each other and with the observations of meteorological stations in the region, both for the historical experimental period and with the observations of recent years for the implementation of future climate projections. Based on historical experiment and future evaluations over the past 16 years, it has been determined that the CMIP6 project model versions are no more effective than the CMIP5 results when compared with observational data.

Due to the fact that the differences between observational and modeling data are systematic, the results of scenario estimates were adjusted according to the principle of similarity of temperature growth rates for the historical observation period and the future scenario period until the end of the 21st century, which is divided into 3 intervals for estimating average values: 2011–2040, 2041–2070 and 2071–2100. Future air temperatures in Central Africa were estimated both for the average values for the territory and for the temperatures of individual weather stations based on the adjusted scenario values, which differed in CMIP5 and CMIP6 by no more than 0.1°C. It was found that the average temperature



increase over the territory in all months by the end of the 21st century reaches 2.0–2.3°C, and according to estimates at individual weather stations, spatial distributions of future temperatures were obtained, which show the greatest increase in the north of the region near the Sahel.

**Keywords:** CMIP5/CMIP6 projects, Central Africa, IPSL/BCC models, RCP/SSP scenarios, air temperature

**For citation:** Mami Magbini Tokpa, Lobanov V. A., Korotkova N. V. Study of spatial distribution of elements in the system “water – bottom sediments” of the Uzynbulak creek of the Semipalatinsk test site. *Izvestiya of Saratov University. Earth Sciences*, 2023, vol. 23, iss. 1, pp. 8–20 (in Russian). <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2023-23-1-8-20>, EDN: NBJJYY

This is an open access article distributed under the terms of Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC0-BY 4.0)

## Введение

Значительное потепление глобального климата, вызванное выбросами парниковых газов, имеет потенциально катастрофические последствия для окружающей среды в целом. Это привело к временным и пространственным изменениям климатических переменных в глобальном масштабе [1–5]. Адаптация к этим изменениям имеет важное значение, и необходимо количественно оценить будущие риски и уязвимость. Глобальные климатические модели (ГКМ) могут имитировать влияние выбросов парниковых газов (ПГ) на климатические системы и дать оценку будущих параметров климатической системы на основе этой информации [6, 7]. Проект по сопоставлению моделей (CMIP, в свободном доступе) – это основной набор данных, который предоставляет ученым самые современные результаты, полученные по климатическим моделям.

Модели CMIP были значительно усовершенствованы в течение многих лет для устранения неопределенностей, связанных с отсутствием полного прояснения физических процедур для работы с климатической системой и климатическими альтернативами, от CMIP1 до самой последней версии CMIP6 [8–11]. Эксперименты и модели общей циркуляции атмосферы (МОЦА), включенные в CMIP5, являются более комплексными и сложными, они охватывают более широкий круг научных проблем с использованием нескольких репрезентативных путей концентрации (RCP). Сценарии будущего в CMIP5 имеют начальный год 2005, а начальным годом для CMIP6 является 2015. Новые сценарии в CMIP6, известные как общие социально-экономические пути (SSP), позволяют лучше оценить последствия политики в области изменения климата [12]. Поэтому они являются более точными, чем предыдущие версии. В некоторых исследованиях сообщалось о надежности новых моделей CMIP6 по сравнению с моделями CMIP5 в Америке, Азии, Африке, Канаде, Китае и Корее [12–14, 16–20].

В данном исследовании мы оцениваем с помощью результатов исторического эксперимента проектов CMIP5 и CMIP6 эффективность сценарных оценок будущей температуры воздуха для региона Центральной Африки для двух моделей климата, выбор и обоснование которых были даны в предыдущем исследовании [21]. Целью

также является сравнение результатов моделирования в проектах CMIP5 и CMIP6 между собой и с данными наблюдений на метеостанциях региона как за период исторического эксперимента, так и по данным наблюдений последних лет для начала будущих проекций климата.

## Климатическое описание района исследования

В данной статье рассматривается территория между 13,8° северной широты и 14,4° южной широты и между 6,7° и 33,8° восточной долготы (рис. 1.). Пересекая экватор и омываемая Атлантическим океаном на западе, эта часть африканской межтропической зоны находится в жарком и влажном тропическом климате, характеризующемся высокими температурами в течение всего года со среднегодовой температурой около +26°C.

В этом регионе с климатом, на который влияют движения межтропической зоны конвергенции, в январе отмечаются относительно низкие температуры (до максимальных 25–27°C в районе Гвинейского залива) по всему региону, с самыми низкими значениями на северо-востоке и в горной юго-восточной части территории (20–22°C) по сравнению с центром. Это связано с влиянием зимней фазы африканского муссона, во время которой холодный, сухой воздух из Северной Африки перемещается на юг. Увеличение приходящей радиации нагревает всю территорию, достигая максимальных температур в марте и апреле, особенно в северной части (до 32–33°C). Летом начинается вторая фаза африканского муссона, когда внутритропическая зона конвергенции (ВЗК) перемещается в сторону северного полушария, за ним следует перемещение влажного воздуха из Атлантики. Присутствие облаков и немного более прохладного воздуха с океана приводит к общему снижению температуры, что особенно заметно в западной и юго-западной частях территории около Гвинейского залива, где температура становится такой же, как в горной юго-восточной части (20–22°C). Осенью происходит естественное радиационное потепление территории между муссонами, с максимальными температурами в северной части вблизи Сахеля (до 27–28°C) и минимальными температурами в горных районах (21–22°C). Температурные колебания в регионе составляют от 7–10°C зимой до 12–13°C в апреле [21].

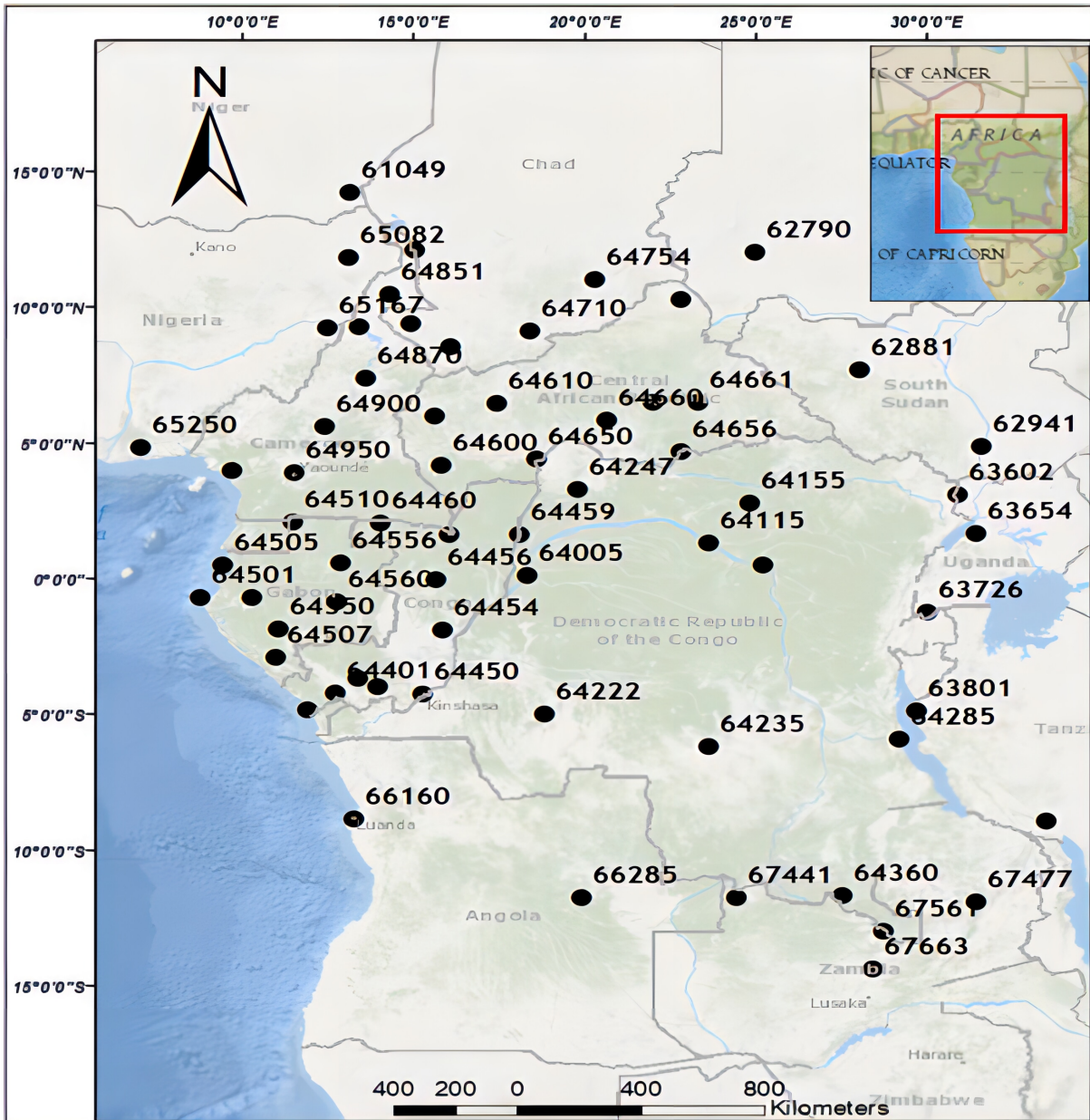


Рис. 1. Схема расположения метеостанций (цвет онлайн)

### Источники данных

Климатические модели наиболее широко используются для оценки будущего климата Земли. В данном исследовании рассматривались отобранные и статистически проанализированные ряды наблюдений среднемесячной температуры воздуха с шестидесяти пяти (65) метеорологических станций в районе исследования, а также исторические и будущие сценарии по проектам CMIP5 и CMIP6 для приземной температуры воздуха. Были выбраны две глобальные климатические модели IPSL и BCC для двух последних стадий проекта CMIP. Результаты исторического эксперимента и будущих проекций климата

были получены с сайта <https://esgf-node.llnl.gov/projects/esgf-llnl/> для трех сценариев будущего климата с уровнями энергетического антропогенного воздействия на конец XXI века в 2.6, 4.5 и 8.5 Вт/м<sup>2</sup> соответственно. Низкие (RCP2.6 и SSP1–2.6) и средний (RCP4.5 и SSP2–4.5) радиационные воздействия, промежуточные стабилизационные сценарии предполагают реализацию инициатив по снижению выбросов. Напротив, сценарии с высоким уровнем радиационного воздействия (RCP8.5 и SSP5–8.5) представляет собой возврат к обычной практике в условиях продолжающейся зависимости от ископаемого топлива [15].



### Методика исследования

Методика, применяемая в данном исследовании, основана на сравнении наблюдений на метеостанциях с результатами исторического эксперимента, который охватывает период 1850–2005 гг. для проекта СМIP5 и 1850–2014 гг. для проекта СМIP6 и с будущими сценарными оценками проектов СМIP5 и СМIP6 двух моделей климата французской (IPSL) и китайской (BCC), которые были признаны наиболее эффективными для данного региона [22], основываясь на результатах исследования [22], показывающих очень низкую корреляцию между наблюдаемыми температурами и результатами исторических экспериментов за совместный многолетний период, можно сравнивать только многолетние средние значения. Для сравнения средних многолетних значений был выбран как весь общий период наблюдений, который различен для разных метеорологических станций, так и отдельные периоды продолжительностью 30 лет, с особым акцентом на соответствие средних значений за самый последний период наблюдений 1976–2005 гг. для проекта СМIP5 и 1981–2010 гг. для проекта СМIP6. Очевидно, что проект, данные которого имеют наибольшую корреляцию со средними многолетними наблюдениями на станциях, является наиболее эффективным. Оценка связи между значениями температуры различных проектов между собой и с наблюдениями на станциях заключается в построении регрессионных зависимостей вида:  $Y = B_1X + B_0$  с оценкой их параметров и остатков (отклонений от линии регрессии), где  $B_1$ ,  $B_0$  – коэффициенты уравнения регрессии,  $R$  – коэффициент корреляции.

При определении наиболее эффективного проекта СМIP оцениваются систематические погрешности, связанные с коэффициентами  $B_1$  и  $B_0$  и затем осуществляется корректировка как данных исторического эксперимента, так и будущих проекций. Для этой цели применяется принцип подобия скорости роста температуры как за исторический период наблюдений, так и за будущий сценарный период до конца XXI века, который делится на 3 интервала для оценки средних значений: 2011–2040, 2041–2070 и 2071–2100 гг. в проекте СМIP6. Скорости роста температуры или градиенты за период в 30 лет ( $\Delta$ ) рассчитываются по следующим формулам:

$$\Delta_1 = \bar{T}_{2_{\text{наб}}} - \bar{T}_{1_{\text{наб}}}, \Delta_2 = \bar{T}_{2_{\text{буд}}} - \bar{T}_{1_{\text{буд}}} \text{ и } \Delta_3 = T_{3_{\text{буд}}} - \bar{T}_{2_{\text{буд}}}, \quad (1)$$

$$\Delta_{\text{ср}_1} = 1/2(\Delta_3 + \Delta_2) \text{ и } \Delta_{\text{ср}_2} = 1/2(\Delta_{\text{ср}_1} + \Delta_1), \quad (2)$$

где  $\bar{T}_{1_{\text{наб}}}$ ,  $\bar{T}_{2_{\text{наб}}}$  – средние температуры за два последовательных 30-летних периода наблюдений: 1951–1980 гг. и 1981–2010 гг.,  $\Delta_{\text{ср}_1}$  и  $\Delta_{\text{ср}_2}$  – средний градиент за будущий сценарный период 2011–2100 гг. и средний градиент по данным наблюдений и сценариям соответственно.

Корректировка средних сценарных температур за 3 будущих периода XXI века осуществляется по формулам:

$$\bar{T}_{\text{кор}(2011-2040)} = \bar{T}_{2_{\text{наб}}} + \Delta_{\text{ср}_2}, \quad (3)$$

$$\bar{T}_{\text{кор}(2041-2070)} = \bar{T}_{\text{кор}(2011-2040)} + \Delta_2, \quad (4)$$

$$\bar{T}_{\text{кор}(2071-2100)} = \bar{T}_{\text{кор}(2041-2070)} + \Delta_3, \quad (5)$$

где  $\bar{T}_{\text{кор}(2011-2040)}$ ,  $\bar{T}_{\text{кор}(2041-2070)}$ ,  $\bar{T}_{\text{кор}(2071-2100)}$  – откорректированные значения будущих сценарных средних температур соответственно за периоды 2011–2040, 2041–2070 и 2071–2100 гг.

В соответствии с (3) значение первого сценарного среднего ( $\bar{T}_{\text{кор}(2011-2040)}$ ) за период 2011–2040 гг. корректируется по среднему градиенту между средними градиентами наблюдаемых и сценарных данных и уже к этому откорректированному среднему добавляется градиент сценарных средних температур  $\Delta_2$  и определяется откорректированное значение за 2-й будущий период 2041–2070 гг., а затем к откорректированному  $\bar{T}_{\text{кор}(2041-2070)}$  добавляется градиент  $\Delta_3$  и определяется откорректированное значение за 3-й будущий период 2071–2100 гг.

Для объединения результатов исторического эксперимента с будущими сценарными оценками необходимо также корректировать 30-летние средние исторического эксперимента по данным наблюдений по формулам:

$$\bar{T}_{\text{кор}(1951-1980)} = \bar{T}_{\text{ист}(1951-1980)} + (\bar{T}_{1_{\text{наб}}} - \bar{T}_{\text{ист}(1951-1980)}), \quad (6)$$

$$\bar{T}_{\text{кор}(1981-2010)} = \bar{T}_{\text{ист}(1981-2010)} + (\bar{T}_{1_{\text{наб}}} - \bar{T}_{\text{ист}(1981-2010)}), \quad (7)$$

где  $\bar{T}_{\text{ист}(1951-1980)}$ ,  $\bar{T}_{\text{ист}(1981-2010)}$  – средние температуры по данным исторического эксперимента за периоды 1951–1980 гг. и 1981–2010 гг. соответственно;  $\bar{T}_{\text{кор}(1951-1980)}$ ,  $\bar{T}_{\text{кор}(1981-2010)}$  – откорректированные средние температуры по данным исторического эксперимента за периоды 1951–1980 гг. и 1981–2010 гг. соответственно.

### Сравнение результатов исторического эксперимента проектов СМIP5 и СМIP6 между собой и с данными наблюдений

Поскольку два проекта имеют разные годы окончания исторического эксперимента, сравнение проводилось для совместного периода 1950–2005 гг. с учетом года начала ряда наблюдений на метеостанциях. Средние значения смоделированных и наблюдаемых величин за этот общий период рассчитывались для каждой из 65 метеостанций на территории Центральной Африки для характерных месяцев каждого из четырех сезонов года: январь, апрель, июль и октябрь. При этом средние значения температур по СМIP5 и СМIP6 интерполировались в точки пространства с координатами метеостанций. Между средними температурами строилась регрессионная



зависимость для всех 65 точек пространства и рассчитывались ее коэффициенты  $B_1$  и  $B_0$  и коэффициент корреляции  $R$  (коэффициент детерминации  $R^2$ ), а также средняя погрешность ( $\Delta_{\text{ср}}$ ) и погрешности для максимальных ( $\Delta_{\text{макс}}$ ) и минимальных ( $\Delta_{\text{мин}}$ ) значений как разности между данными исторического эксперимента по СМIP5 и СМIP6 и такие же разности между наблюдаемыми и смоделированными средними. Результаты расчетов приведены в табл. 1 для двух климатических моделей – французской IPSL и китайской ВСС.

Из данных табл. 1 следует, что коэффициенты детерминации для зависимостей между средними температурами 1950–2005 гг. проектов СМIP5 и СМIP6 достаточно высокие и находятся в диапазоне  $R^2 = 0,8–0,9$ , а для зависимостей между наблюдениями и результатами моделирования очень низкие и статистически незначимы ( $R^2 = 0,0–0,1$ ). Этот результат свидетельствует о том, что данные исторических экспериментов в проектах СМIP5 и СМIP6 не сильно различаются, а глобальные модели климата не воспроизводят не только временную климатическую изменчивость, но и пространственную неоднородность, связанную с локальными особенностями климата. Поэтому даже средние значения за многолетний период не совпадают с аналогичными средними в пунктах наблюдений по территории.

Средние для территории разности между наблюдаемыми и смоделированными средними температурами ( $\Delta_{\text{ср}}$ ) не превышают в основном

$2^\circ\text{C}$ , причем эти систематические территориальные невязки меньше для осени и зимы (максимум  $1,1–1,3^\circ\text{C}$ ) и больше для весны и лета (максимум  $2,1–2,7^\circ\text{C}$ ), модель IPSL дает несколько меньшие разности, чем ВСС. Разности как для наибольших, так и для наименьших значений, обусловленных влиянием местных особенностей, могут достигать  $4–5,7^\circ\text{C}$  осенью и зимой и быть до  $10–13^\circ\text{C}$  весной и летом. Этот результат как раз и свидетельствует о том, что даже если в среднем для территории климатическая модель и дает небольшую систематическую погрешность, то в отдельных ее частях за счет влияния местных факторов эти погрешности могут быть в несколько раз больше и их пространственное распределение следует строить и анализировать.

Интересны также результаты сопоставления смоделированных средних по двум проектам СМIP5 и СМIP6. Хотя коэффициенты детерминации  $R^2$  между смоделированными данными и высокие, но есть систематические различия. Так, коэффициент  $B_1$  в случае отсутствия систематических различий должен быть равным 1,0, что соответствует тангенсу угла наклона линии регрессии, проходящей под углом  $45^\circ$ . Для французской модели IPSL это практически так, а для китайской ВСС коэффициент  $B_1 = 1,1$ , что приводит к занижению значений ниже среднего территориального и их завышению выше среднего. Коэффициент  $B_0$  характеризует систематическое отклонение в области предельных минимальных значений, и оно практически

Таблица 1

Результаты сравнения данных исторических экспериментов в проектах СМIP5 и СМIP6 и между проектами и данными наблюдений на метеостанциях Центральной Африки за период 1950–2005 гг.

IPSL							ВСС						
СМIP5 И СМIP6							СМIP5 И СМIP6						
Период	$B_1$	$B_0$	$R^2$	$\Delta_{\text{ср}}$	$\Delta_{\text{макс}}$	$\Delta_{\text{мин}}$	$B_1$	$B_0$	$R^2$	$\Delta_{\text{ср}}$	$\Delta_{\text{макс}}$	$\Delta_{\text{мин}}$	
Январь	1,0	-0,5	0,9	-0,3	1,2	0,1	1,1	-1,3	0,8	1,0	1,6	0,0	
Апрель	1,0	-0,8	0,9	-1,1	-0,3	-0,8	1,1	-2,2	0,8	1,1	3,2	-1,3	
Июль	0,9	0,5	0,8	-1,2	-0,7	-1,5	1,1	-1,5	0,8	1,0	2,3	-1,0	
Октябрь	1,0	-0,2	0,9	-1,2	-0,4	-1,9	1,1	-1,4	0,8	1,1	3,5	-1,1	
СМIP5 и наблюдения							СМIP5 и наблюдения						
Период	$B_1$	$B_0$	$R^2$	$\Delta_{\text{ср}}$	$\Delta_{\text{макс}}$	$\Delta_{\text{мин}}$	$B_1$	$B_0$	$R^2$	$\Delta_{\text{ср}}$	$\Delta_{\text{макс}}$	$\Delta_{\text{мин}}$	
Январь	0,3	16,9	0,1	-0,6	4,6	-4,2	0,2	18,3	0,1	0,0	4,6	-2,7	
Апрель	0,0	25,4	0,0	1,6	7,4	-8,3	-0,1	28,2	0,0	2,0	9,7	-5,2	
Июль	-0,1	24,5	0,0	-1,7	10,2	-9,9	0,0	24,3	0,0	-1,1	10,3	-12,4	
Октябрь	0,2	21,1	0,0	0,1	3,3	-5,7	0,1	22,9	0,0	0,8	5,7	-2,8	
СМIP6 и наблюдения							СМIP6 и наблюдения						
Период	$B_1$	$B_0$	$R^2$	$\Delta_{\text{ср}}$	$\Delta_{\text{макс}}$	$\Delta_{\text{мин}}$	$B_1$	$B_0$	$R^2$	$\Delta_{\text{ср}}$	$\Delta_{\text{макс}}$	$\Delta_{\text{мин}}$	
Январь	0,3	17,9	0,1	0,6	5,7	-1,9	0,2	18,9	0,1	-1,1	-3,1	-3,7	
Апрель	0,0	26,4	0,0	2,7	9,2	-6,5	0,0	27,3	0,0	1,0	8,2	-8,4	
Июль	-0,1	24,9	0,0	-0,6	12,0	-9,3	-0,1	26,1	0,0	-2,1	9,6	-13,0	
Октябрь	0,1	22,5	0,0	1,3	5,3	-3,1	0,0	24,6	0,0	-0,3	3,7	-4,3	



во всех случаях отрицательное и для модели ВСС в 1,5 раза больше, чем для IPSL. Аналогичным образом и отклонения между наибольшими и наименьшими значениями для модели ВСС больше и достигают 3,2–3,5°C, а для модели IPSL – 1,5–1,9°C.

По результатам анализа коэффициентов и отклонений можно сделать вывод, что для модели IPSL результаты расчетов по историческому эксперименту в проектах СМIP5 и СМIP6 практически не отличаются, и средние случайные отклонения не превышают 1°C. Для модели ВСС в полученных данных исторического эксперимента по двум проектам есть систематические отклонения: значения выше среднего завышены, ниже среднего – занижены и максимальные отклонения уже составляют 3,0–3,5°C. Сравнение с данными наблюдений показало, что для модели IPSL средние по модулю погрешности равны 1,0°C в проекте СМIP5 и 1,3°C в проекте СМIP6, а наибольшие достигают 8–10°C в проекте СМIP5 и 9–12°C в проекте СМIP6. Поэтому получается, что в проекте СМIP6 данные исторического эксперимента даже менее эффективны, чем в СМIP5. Для модели ВСС средние по модулю погрешности равны 1,0°C в проекте СМIP5 и 1,1°C в проекте СМIP6, а наибольшие достигают 10–12°C в проекте СМIP5 и 10–13°C в проекте СМIP6. Отсюда следует, что данные проекта СМIP6 не уменьшили расхождение с данными наблюдений и даже несколько увеличили их. Поэтому при оценке будущего климата нельзя надеяться только на сценарии

проекта СМIP6, а надо использовать и сценарные оценки проекта СМIP5, так как исторический эксперимент проекта СМIP6 не доказал, что результаты этого проекта эффективнее, чем СМIP5.

Для оценки устойчивости полученных в табл. 1 результатов общий период наблюдений был разделен на две части 1950–1977 гг. и 1978–2005 гг. и проведены такие же сравнения как между двумя полупериодами, так и каждого из них с общим периодом и получены практически такие же выводы. Так, для китайской модели ВСС при сравнении данных моделирования СМIP5 и СМIP6  $R^2 = 0,8$ , коэффициент  $B_1 = 1,1$ , коэффициент  $B_0$  также отрицательный, но уже в 2 раза больше, чем за период 1950–2005 гг., а среднее отклонение на 0,2°C меньше, хотя отклонения при наибольших и наименьших значениях остаются такими же и достигают 3,5°C. При сравнении данных моделирования с данными наблюдений  $R^2 = 0,0–0,1$  и наибольшие отклонения также достигают 10–13°C, хотя средние отклонения несколько большие и равны 1,6°C против 1,1°C за весь период.

#### Сравнение результатов будущих сценариев проектов СМIP5 и СМIP6

Как и в случае с историческими данными, будущие сценарии (2.6, 4.5 и 8.5) RCP/SSP сравнивались для проектов СМIP5 и СМIP6, и полученные результаты представлены в табл. 2 для модели ВСС и в табл. 3 для модели IPSL, где период 1: 2011–2040 гг., период 2: 2041–2070 гг.

Таблица 2

Результаты сравнения будущих сценарных оценок в проектах СМIP5 и СМIP6 для территории Центральной Африки по модели ВСС

Период	Сценарий											
	2,6				4,5				8,5			
	$B_0$	$\Delta_{ср}$	$\Delta_{макс}$	$\Delta_{мин}$	$B_0$	$\Delta_{ср}$	$\Delta_{макс}$	$\Delta_{мин}$	$B_0$	$\Delta_{ср}$	$\Delta_{макс}$	$\Delta_{мин}$
Январь												
1	-2,1	0,9	1,8	-1,3	-1,4	0,9	1,5	-0,6	-1,6	0,7	1,5	-0,8
2	-2,0	1,0	1,7	-0,1	-1,6	1,0	1,7	0,0	-1,7	0,7	1,7	-0,4
3	-1,4	1,1	1,9	-0,2	-2,4	1,2	2,2	0,4	-2,8	0,7	2,1	-3,6
Апрель												
1	-2,5	0,9	3,2	-1,4	-1,8	0,9	2,9	-2,0	-1,9	0,7	2,9	-1,2
2	-2,3	1,0	2,7	-1,1	-2,4	1,0	2,9	-1,6	-2,5	0,7	2,9	-2,4
3	-1,5	1,1	3,1	-0,5	-3,0	1,2	3,6	-0,8	-3,7	0,8	3,6	-2,1
Июль												
1	-1,7	0,9	1,9	-1,7	-1,5	0,8	1,7	-2,2	-1,7	0,7	1,9	-2,1
2	-2,0	1,0	2,2	-1,2	-2,2	0,9	1,8	-1,8	-3,1	0,7	1,5	-3,0
3	-1,1	1,0	2,1	-0,7	-1,9	1,2	2,1	-1,0	-3,8	0,8	1,4	-3,4
Октябрь												
1	-1,6	1,0	3,2	-1,0	-1,4	0,9	3,1	-1,5	-1,5	0,8	3,2	-2,0
2	-1,9	1,1	3,5	-1,0	-1,8	1,0	3,1	-1,1	-2,1	0,8	3,0	-2,5
3	-1,3	1,1	3,8	-1,4	-1,9	1,3	3,5	-0,8	-3,2	0,9	3,5	-2,8



Таблица 3

**Результаты сравнения будущих сценарных оценок в проектах СМIP5 и СМIP6 для территории Центральной Африки по модели IPSL**

Период	Сценарий											
	2,6				4,5				8,5			
	$B_0$	$\Delta_{ср}$	$\Delta_{макс}$	$\Delta_{мин}$	$B_0$	$\Delta_{ср}$	$\Delta_{макс}$	$\Delta_{мин}$	$B_0$	$\Delta_{ср}$	$\Delta_{макс}$	$\Delta_{мин}$
Январь												
1	-0,3	-0,4	0,3	1,1	-0,8	-1,3	1,4	0,0	-0,3	-0,5	0,2	0,7
2	-0,2	-0,3	0,6	0,9	-0,6	-1,1	1,4	0,2	-1,0	-0,5	0,0	-0,3
3	-0,6	-0,3	0,4	0,3	-0,9	-1,2	1,7	-0,1	-0,3	-0,1	1,3	0,8
Апрель												
1	-1,1	-0,3	-0,7	-0,2	-0,7	-1,2	-0,5	-1,3	-1,4	-0,4	-0,7	-0,2
2	-1,1	-0,2	-0,6	-0,2	-1,1	-1,0	-0,3	-1,0	-2,5	-0,4	-0,6	-0,4
3	-1,4	-0,2	-0,5	-0,4	-1,3	-1,1	-0,6	-0,9	-2,4	0,0	0,2	0,9
Июль												
1	0,7	-0,3	0,6	-0,5	1,9	-1,1	-0,4	-2,1	0,3	-0,4	0,6	-0,1
2	0,0	-0,2	0,8	-0,3	0,8	-1,0	-0,3	-1,8	0,0	-0,4	1,0	-0,7
3	-0,3	-0,2	0,6	-0,5	0,2	-1,1	-0,8	-1,6	1,5	0,0	1,5	0,7
Октябрь												
1	-0,6	-0,4	0,7	-0,8	0,0	-1,3	-0,7	-1,5	-0,5	-0,4	0,2	-0,8
2	-0,6	-0,3	0,7	-0,2	-0,3	-1,1	-1,7	-0,8	-1,4	-0,5	0,4	-0,5
3	-1,2	-0,3	0,5	-0,9	-0,5	-1,2	-0,7	-1,6	-0,1	-0,1	1,2	0,1

и период 3: 2071–2100 гг. Коэффициенты  $R^2$  и  $B_1$  не приводятся в таблицах, так как они практически одинаковы и равны  $R^2 = 0,8$  для ВСС и  $R^2 = 0,9$  для IPSL, коэффициент  $B_1 = 1,1$  для ВСС и  $B_1 = 1,0$  для IPSL. Поэтому вывод практически такой же, как и по данным исторического эксперимента: модель ВСС в двух проектах имеет большие различия, чем модель IPSL, в которой данные двух проектов больше связаны и систематические отклонения отсутствуют.

Анализ отклонений в табл. 2, 3 также свидетельствует о том, что модель ВСС в проекте СМIP6 больше отличается от такой же модели в проекте СМIP5, чем модель IPSL. Наибольшие отклонения для модели ВСС достигают 3,5–3,8°C, а для модели IPSL – 1,7–2,1°C, а средние отклонения ( $\Delta_{ср}$ ) для IPSL не превышают 0,5°C за исключением сценария 4.5, где они достигают 1,2–1,3°C. В модели ВСС  $\Delta_{ср}$  находится в диапазоне 0,7–1,3°C и практически все  $\Delta$  увеличиваются с ростом номера будущего периода. т. е. в проекте СМIP6 даны большие изменения для более дальних интервалов времени. Можно также отметить, что разница между сценарными оценками двух проектов зимой – осенью меньше, чем весной – летом. Общий вывод состоит в том, что так же, как и в случае исторического эксперимента сценарные оценки в проектах СМIP5 и СМIP6 различаются примерно также по тем же показателям.

**Оценка будущих температур воздуха Центральной Африки до 2100 г.**

Предыдущее сравнение моделей в проектах СМIP5 и СМIP6 между собой и с данными наблюдений приводит к выводу, что для будущих сценарных оценок следует применять модели из двух проектов, так как при сравнении с данными наблюдений модели проекта СМIP6 практически не дают преимуществ по отношению к применению моделей проекта СМIP5. Вместе с тем существует возможность сопоставить результаты сценарной оценки температуры в проекте СМIP5 с данными фактических наблюдений за последний период 15–16 лет, начиная с 2006 г. Для сравнения данных наблюдений со сценарными оценками проекта СМIP6 совместный период 6-7 лет еще недостаточен для получения надежных средних значений. Поэтому сравнивались средние значения, полученные по данным наблюдений за период с 2006 г. со сценарными данными за тот же период. Результаты даны в табл. 4. Показатели сравнения для двух случаев (см. табл. 4) или двух наборов данных: сценарные оценки температуры непосредственно в том виде, в котором они приводятся на сайте в Интернете (СМIP5), и с учетом корректировки по формулам (3)–(5), что обозначено в табл. 4 как «СМIP5 кор». Сценарные значения температур получены для климатической модели ВСС.

По результатам табл. 4 можно сделать следующие выводы:

- осредненные за 15 лет (2006–2020 гг.) данные проекта СМIP5 практически никак



Таблица 4

Результаты оценки эффективности сценарных температур проекта СМIP5 до и после корректировки на основе данных наблюдений для модели ВСС

Сценарий	Месяц	Данные	$B_1$	$B_0$	$R^2$	$\Delta_{ср}$	$\Delta_{макс}$	$\Delta_{мин}$
RCP2.6	Январь	СМIP5	0,6	10,2	0,21	0,4	4,8	-2,1
		СМIP5 кор	0,9	1,6	0,94	0,3	0,3	0,1
	Апрель	СМIP5	-0,5	40,2	0,08	1,9	13,6	-5,0
		СМIP5 кор	1,0	-1,0	0,99	-0,1	-0,2	-0,4
	Июль	СМIP5	0,2	19,9	0,01	-0,8	1,2	-8,9
		СМIP5 кор	1,0	0,5	0,98	0,1	0,3	-0,2
	Октябрь	СМIP5	0,5	13,0	0,15	1,4	2,7	-2,4
		СМIP5 кор	1,0	-0,1	0,96	0,2	0,7	-0,2
RCP4.5	Январь	СМIP5	0,5	11,6	0,18	0,3	4,8	-2,3
		СМIP5 кор	0,9	1,7	0,95	0,2	0,2	0,2
	Апрель	СМIP5	-0,5	40,2	0,08	-0,2	-0,1	-0,3
		СМIP5 кор	1,0	-0,9	0,99	-0,2	-0,1	-0,3
	Июль	СМIP5	0,2	19,4	0,01	-0,9	-9,2	1,0
		СМIP5 кор	1,0	0,7	0,98	0,1	0,3	-0,1
	Октябрь	СМIP5	0,5	13,0	0,14	1,3	2,7	-2,7
		СМIP5 кор	1,0	0,2	0,96	0,2	0,6	-0,1
RCP8.5	Январь	СМIP5	0,6	11,4	0,19	0,3	4,6	-2,4
		СМIP5 кор	0,9	1,7	0,94	0,2	0,1	0,2
	Апрель	СМIP5	-0,5	40	0,07	1,8	13,8	-5,1
		СМIP5 кор	1,0	-1,01	0,99	-0,3	-0,4	-0,5
	Июль	СМIP5	0,1	20,7	0,00	-0,8	1,2	-9,3
		СМIP5 кор	1,0	0,6	0,98	-0,1	-0,2	0,2
	Октябрь	СМIP5	0,5	14,6	0,11	1,3	2,7	-2,7
		СМIP5 кор	1,0	0,1	0,96	0,1	0,5	-0,2

не коррелируют с такими же средними данными наблюдений, на что указывает  $R^2$ , изменяющийся от  $R^2 = 0,00$  до  $R^2 = 0,21$ ;

- средние разности между наблюдаемыми и сценарными значениями в среднем для территории наименьшие в январе ( $\Delta_{ср} = +0,3 - +0,4^\circ\text{C}$ ), но достигают  $+1,4 - +1,9^\circ\text{C}$  в апреле и октябре, а в июле средние наблюдаемые меньше сценарных и составляют  $-0,8 - -0,9^\circ\text{C}$  по всем сценариям;
- разности  $\Delta_{макс}$  для наибольших значений достигают  $-9,2^\circ\text{C}$  в июле и  $+13,6 - +13,8^\circ\text{C}$  в апреле, в январе они систематически занижены моделью и  $\Delta_{макс} = +4,6 - +4,8^\circ\text{C}$ ;
- разности  $\Delta_{мин}$  для наименьших значений достигают  $-8,9 - -9,3^\circ\text{C}$  в июле,  $-5,1^\circ\text{C}$  в апреле и до  $-2,1 - -2,7$  в январе и октябре.

Таким образом, даже средние как по территории, так и по времени сценарные температуры отклоняются от наблюдаемых средних почти до  $2^\circ\text{C}$ , а наибольшие отклонения за счет локальной пространственной климатической неоднородности могут достигать  $9-13^\circ\text{C}$ .

После корректировки температур по формулам (3)-(5)  $R^2 = 0,94-0,99$  коэффициент  $B_1$  близок к 1,0,  $\Delta_{ср} = -0,2 - +0,3^\circ\text{C}$ , а наибольшие разности не превышали по модулю  $0,4-0,5^\circ\text{C}$ .

Оценка будущей температуры воздуха Центральной Африки осуществлялась как для средних территориальных значений, так и для температур на отдельных метеостанциях на основе скорректированных сценарных значений. Пример корректировки средней для территории температуры воздуха для французской модели IPSL и среднего сценария 4.5 показан на рис. 2. Средние 30-летние значения температур воздуха за характерные месяцы всех сезонов года (январь, апрель, июль, октябрь) для средин 5 временных интервалов: двух современных (1951-1980, 1981-2010) и трех будущих (2011-2040, 2041-2070 и 2071-2100 гг.) по наблюдаемым данным и будущим оценкам после корректировки (Ряд 1), а также по данным исторического эксперимента и по будущим оценкам по проектам СМIP5 и СМIP6 без корректировки (Ряд 2 и Ряд 3) (см. рис. 2). Вертикальными стрелками на графиках показаны направления корректировки. В связи с тем, что сценарные оценки по проектам СМIP5 и СМIP6, полученные после корректировки, были одинаковы и иногда только отличались на  $0,1^\circ\text{C}$ , они были объединены и показаны на рис.2 в виде одной линии.

Из графиков рис. 2 следует, что температура января для региона Центральной Африки по ис-



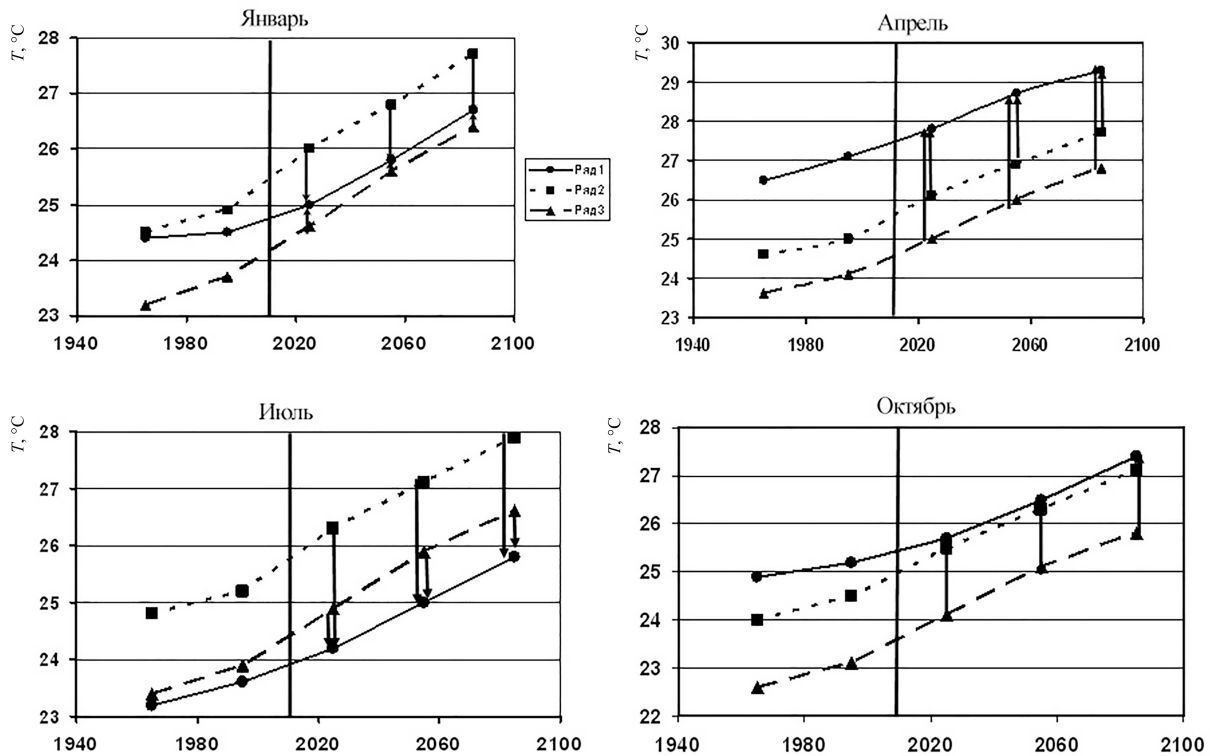


Рис. 2. Пример корректировки сценарных будущих оценок средней температуры воздуха для Центральной Африки по модели IPSL и сценарию  $4,5 \text{ Вт/м}^2$ , где Ряд 1 – наблюдаемые данные и откорректированные будущие сценарии, Ряд 2, Ряд 3 – данные исторического эксперимента и будущих сценарных оценок для проектов СМІР5 и СМІР6 соответственно

торическому эксперименту была несколько завышена в СМІР5 и занижена в СМІР6. Поэтому результаты будущих проекций проекта СМІР5 следует уменьшить, а проекта СМІР6 несколько увеличить. Для апреля данные исторического эксперимента в обоих проектах дают заниженные по сравнению с наблюдаемыми значения температур (больше для проекта СМІР6), и будущие сценарные значения следует увеличить. В июле, наоборот, все сценарные будущие значения следует уменьшить и больше для проекта СМІР5. В октябре снова обратная ситуация, все модельные оценки следует увеличить и больше для проекта СМІР6. Поэтому если не выполнять корректировку сценарных значений на основе данных наблюдений, то в октябре в середине XXI века по СМІР6 и сценарию 4,5 в среднем по Центральной Африке температура будет  $25,1^\circ\text{C}$ , в то время как еще до 2010 г. она была  $25,2^\circ\text{C}$ . В целом данные исторического эксперимента завышают температуру июля и занижают температуру апреля и октября на  $2\text{--}3^\circ\text{C}$ .

Откорректированные будущие сценарные оценки средней региональной температуры для двух моделей (IPSL и BCC), трех сценариев и трех интервалов времени в будущем приведены в табл. 5. Из результатов табл. 5 следует, что разница между сценарными значениями по СМІР5 и СМІР6 в основном не превышает  $0,1^\circ\text{C}$ , а сред-

ний рост температуры во все месяцы на конец XXI века по сравнению с современным достигает  $0,2\text{--}0,5^\circ\text{C}$  по сценарию 2,6,  $1,2\text{--}1,7^\circ\text{C}$  по сценарию 4,5 и  $2,6\text{--}4,2^\circ\text{C}$  по сценарию 8,5, причем нижний предел диапазона изменений получен по модели BCC, а верхний – по модели IPSL. И если для сценариев 2,6 и 4,5 разница в оценках по двум моделям составляет  $0,3^\circ\text{C}$  и  $0,5^\circ\text{C}$  соответственно, то для сценария 8,5 это различие уже большое и составляет почти  $2^\circ\text{C}$ . Поэтому можно считать, что сценарий 8,5 не только является маловероятным предельным, но еще и ненадежным при оценке на основе его по разным моделям климата.

Следующие результаты оценки будущей температуры воздуха получены уже для каждой из 24 выбранных метеостанций из условий равномерности их размещения по территории для надежной пространственной интерполяции. Пример полученных карт пространственных распределений будущих сценарных температур для средней температуры октября по 30-летним периодам приведен на рис.3 для модели IPSL и двух сценариев 4,5 и 8,5. Как видно из рис. 3, по наиболее вероятному среднему сценарию 4,5 область с температурой выше  $28^\circ\text{C}$  (красным на рис. 3) будет постепенно расширяться от современной на севере рассматриваемой территории к центральной и западной частям и к концу XXI века



Таблица 5

Средние для территории Центральной Африки откорректированные значения будущих сценарных температур по моделям IPSL и BCC и по 3 м сценариям за характерные месяцы года (1 – Январь, 4 – Апрель, 7 – Июль, 10 – Октябрь)

Месяц	Сценарий	Периоды в будущем											
		2011–2040				2041–2070				2070–2100			
		BCC		IPSL		BCC		IPSL		BCC		IPSL	
		5	6	5	6	5	6	5	6	5	6	5	6
1	2,6	24,8	24,8	24,7	24,9	24,9	25,0	24,8	25,1	24,9	25,2	25,0	25,4
	4,5	25,0	25,1	25,0	25,0	25,4	25,7	25,8	25,9	25,9	26,3	26,6	26,7
	8,5	25,4	25,4	25,5	25,6	26,7	26,7	27,4	27,6	28,2	28,0	29,2	29,4
4	2,6	27,4	27,5	27,5	27,5	27,5	27,6	27,7	27,8	27,6	27,8	27,9	28,0
	4,5	27,6	27,7	27,8	27,8	28,1	28,3	28,6	28,7	28,5	28,9	29,5	29,1
	8,5	28,1	28,1	28,3	28,4	29,4	29,4	30,1	30,4	30,7	30,7	32	32,4
7	2,6	23,9	23,9	23,9	23,9	24,0	24,1	24,0	24,1	24,0	24,1	24,2	24,4
	4,5	24,1	24,2	24,2	24,2	24,5	24,8	25,0	25,0	24,9	25,4	25,8	25,9
	8,5	24,5	24,5	24,7	24,7	25,8	25,9	26,5	26,7	27,2	27,2	28,4	28,7
10	2,6	25,4	25,4	25,4	25,4	25,5	25,6	25,6	25,6	25,6	25,8	25,7	25,9
	4,5	25,6	25,7	25,7	25,7	26,1	26,3	26,5	26,6	26,5	26,9	27,3	27,4
	8,5	26,0	26,0	26,2	26,3	27,3	27,4	28,1	28,3	28,7	28,7	29,9	30,3

будет уже занимать больше половины территории Центральной Африки за исключением горных областей на северо-западе и юго-востоке, хотя и там температура достигнет и даже превысит 25°C. Наибольшие по территории тем-

пературы воздуха на севере вблизи Сахеля вырастут с современных 27–28°C до 31°C в последней трети XXI века. В остальной большей части территории, включая и горные районы, температуры вырастут не более чем на 2°C. По сценарию

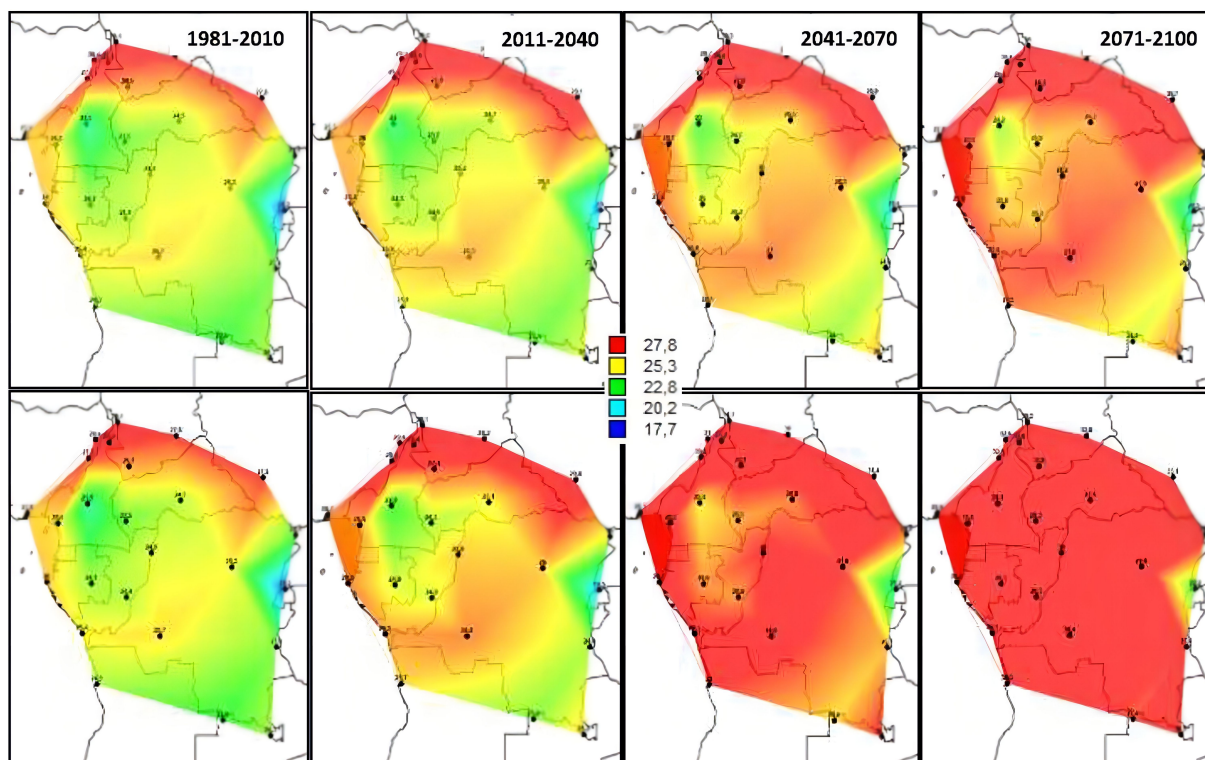


Рис. 3. Пространственные распределения современных и сценарных температур октября для Центральной Африки по модели IPSL и сценариям 4,5 Вт/м<sup>2</sup> (вверху) и 8,5 Вт/м<sup>2</sup> (внизу) (цвет онлайн)



8,5 уже к середине этого столетия практически на всей территории Центральной Африки температура превысит  $28^{\circ}\text{C}$  с максимумами  $31\text{--}32^{\circ}\text{C}$  на севере, а в последней трети столетия небольшая локальная горная область с температурой  $23^{\circ}\text{C}$  останется только на востоке, а на всей территории температуры будут от  $28^{\circ}\text{C}$  в горных районах до  $33^{\circ}\text{C}$  на севере.

Для характерных месяцев остальных сезонов года пространственные распределения приведены на рис. 4 только для сценария 4,5. Из сопоставления изменения пространственных закономерностей от настоящего периода к последней трети XXI века для каждого сезона года можно сделать следующие выводы.

1. Зимний период (январь) обусловлен первой фазой африканского муссона, когда сухой

прохладный воздух перемещается вместе с ВЗК (внутритропической зоной конвергенции) от пустынь Северной Африки и в этот период наибольшие температуры в  $27^{\circ}\text{C}$  имеют место вблизи Гвинейского залива и на востоке внутри континента, а наименьшие в горных районах могут быть  $20^{\circ}\text{C}$  и меньше, а на севере региона температуры составляют  $22\text{--}24^{\circ}\text{C}$ . В конце 21 столетия ожидается увеличение температур на  $2^{\circ}\text{--}3^{\circ}\text{C}$ , а температуры выше  $27^{\circ}\text{--}28^{\circ}\text{C}$  будут наблюдаться в западной и центральной частях.

2. Динамика пространственных распределений температур апреля практически повторяет пространственные изменения температур октября. Потепление также вначале охватывает северную часть территории, а затем запад и восток и к последней трети XXI века температуры

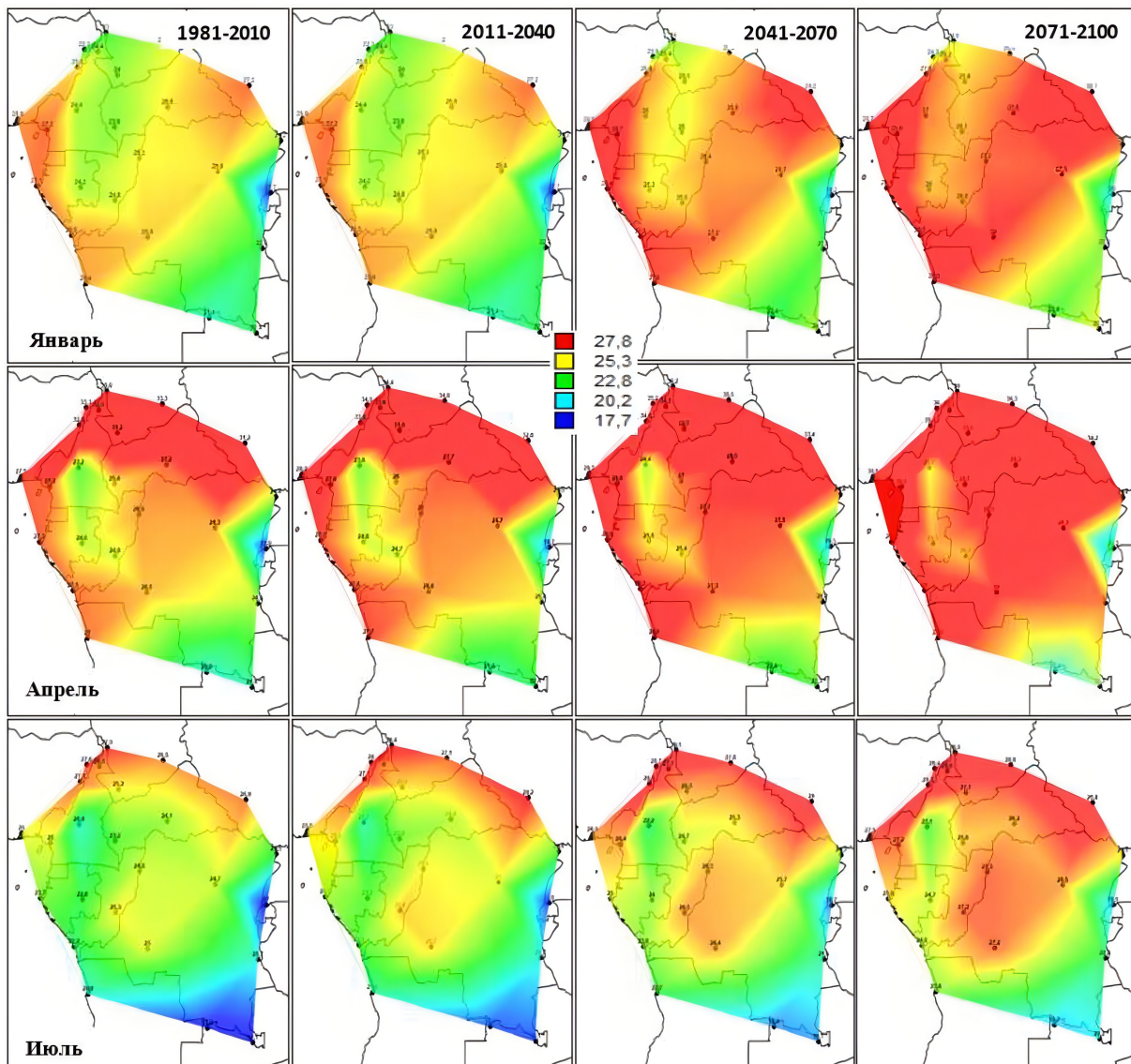


Рис. 4. Пространственные распределения современных и сценарных температур января, апреля и июля для Центральной Африки по модели IPSL и сценариям  $4,5 \text{ Вт/м}^2$  (цвет онлайн)



от 28°C и выше (до 36°C на севере) будут иметь место практически на всей территории Центральной Африки с исключением отдельных горных районов в центре и на юго-востоке. Общий по территории рост температуры за 21 столетие может составить от 2 до 3°C.

3. В летний сезон (июль), во второй фазе Африканского муссона, когда влажный воздух поступает с Атлантики, высокие температуры (выше 27°C), которые в настоящее время наблюдаются только на самом севере региона, к концу 21 столетия будут иметь место на всей северной половине территории, за исключением горных областей. Диапазон роста температур к концу столетия составляет 2° – 2,5°C, что несколько меньше, чем в другие сезоны года.

### Заключение

В результате выполненного исследования можно сделать следующие выводы.

1. Сравнение результатов исторического эксперимента проектов CMIP5 и CMIP6 между собой и с данными наблюдений показало, что для модели IPSL средние случайные отклонения в версиях CMIP5 и CMIP6 не превышают 1°C, но при сравнении с данными наблюдений получено, что погрешности CMIP6 больше, чем в CMIP5 и составляют 1,0°C и 1,3°C соответственно. Поэтому модель IPSL проекта CMIP6 даже менее эффективна, чем в проекте CMIP5.

2. Для модели ВСС в полученных данных исторического эксперимента по двум проектам есть систематические отклонения: значения выше среднего завышены, ниже среднего занижены и максимальные отклонения уже составляют 3,0–3,5 °C. При сравнении с данными наблюдений средние по модулю погрешности равны 1,0°C в проекте CMIP5 и 1,1°C в проекте CMIP6, а наибольшие достигают 10–12°C в проекте CMIP5 и 10–13°C в проекте CMIP6.

3. В связи с тем, что при сравнении результатов исторического эксперимента с данными наблюдений модели проекта CMIP6 не дали преимуществ по сравнению с моделями CMIP5, то при оценке будущего климата следует использовать сценарии обоих проектов.

4. При сравнении результатов будущих сценарных оценок по проектам CMIP5 и CMIP6 получены практически такие же выводы, как и в случае их сравнения по данным исторического эксперимента: модель ВСС в двух проектах имеет большие различия, чем модель IPSL, в которой данные двух проектов больше связаны и систематические отклонения отсутствуют.

5. При сравнении сценарных оценок проекта CMIP5 с данными наблюдений за совместный период последних 15–16 лет начиная с 2006 года получено, что даже средние как по территории, так и по времени сценарные температуры отклоняются от наблюдаемых средних почти

до 2°C, а наибольшие отличия за счет локальной пространственной климатической неоднородности могут достигать 9–13°C. Поэтому сценарные оценки необходимо было корректировать, и после корректировки получена высокая связанность средних модельных и наблюдаемых данных ( $R^2 = 0,94–0,99$ ), отсутствие систематических погрешностей, а средние отклонения составляли  $\Delta_{cp} = -0,2 - +0,3^\circ\text{C}$  и наибольшие разности не превышали по модулю 0,4–0,5°C.

6. Для средней по территории температуры Центральной Африки на последнюю треть XXI века получен ее рост от 0,2–0,5°C до 2,6–4,2°C по предельным сценариям и 1,2–1,7°C по сценарию 4,5. При этом модель IPSL дает верхние пределы этого диапазона температур, а модель ВСС – нижние. Наибольшие различия по двум моделям почти в 2 раза имеют место для сценария 8,5, который можно считать и маловероятным, и ненадежным для оценок.

7. Полученные пространственные распределения на основе будущих сценарных температур по станциям показывают, что в межмуссонный период (весна и осень) те наибольшие температуры, которые наблюдаются в настоящее время только на севере территории вблизи Сахеля и превышают 28°C к середине последней трети XXI века, будут практически уже во всей Центральной Африке, а на севере вырастут с современных 27–28°C до 31°C по среднему сценарию 4,5. В зимний муссон температуры выше 27°–28°C будут наблюдаться к концу столетия в западной и центральной частях, а в летний муссон – в северной половине территории за исключением горных областей. Общее увеличение температуры к концу столетия ожидается в 2–3°C и несколько меньше летом 1,5–2,5°C.

### Библиографический список

1. Salman S. A., Shahid S., Afan H. A., Shiru M. S., Al-Ansari N., Yaseen Z. M. Changes in climatic water availability and crop water demand for Iraq region // Sustainability. 2020. Vol. 12. P. 3437. <https://doi.org/10.3390/su12083437>
2. Nashwan M. S., Shahid S. Future precipitation changes in Egypt under the 1.5 and 2.0°C global warming goals using CMIP6 multimodel ensemble // Atmospheric Research. 2022. Vol. 265. Article number 105908. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2021.105908>
3. Hamed M. M., Nashwan M. S., Shahid S. A novel selection method of CMIP6 GCMs for robust climate projection // International Journal of Climatology. 2022. Vol. 42. P. 4258–4272. <https://doi.org/10.1002/joc.7461>
4. Salehie O.; Ismail T. B., Hamed M. M., Shahid S., Idran Muhammad M. K. Projection of Hot and Cold Extremes in the Amu River Basin of Central Asia using GCMs CMIP6 // Stochastic Environmental Research and Risk Assessment. 2022. Vol. 36, iss. 10. P. 1–22. <https://doi.org/10.1007/s00477-022-02201-6>
5. Salehie O., Ismail T. B., Hamed M. M., Shahid S., Idran Muhammad M. K. Selection of CMIP6 GCM with projection



- of climate over the Amu Darya River Basin // *Theoretical and Applied Climatology*. 2022. № 2. P. 1–19. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1031530/v1>
6. *Hartmann D. L.* Chapter 11-Global Climate Models // *Global physical climatology*. 2nd ed. Boston : Elsevier, 2016. P. 325–360.
7. *Taylor K. E., Balaji V., Hankin S., Juckes M., Lawrence B., Pascoe S.* CMIP5 data reference syntax (DRS) and controlled vocabularies. PCMDI: San Francisco Bay Area, 2011. [https://pcmdi.llnl.gov/mips/cmip5/docs/cmip5\\_data\\_reference\\_syntax\\_v1-01\\_clean.pdf](https://pcmdi.llnl.gov/mips/cmip5/docs/cmip5_data_reference_syntax_v1-01_clean.pdf) (дата обращения: 10.05.2022).
8. *Hamed M. M., Nashwan M. S., Shahid S., Ismail T. B., Wang X. J., Dewan A., Asaduzzaman M.* Inconsistency in historical simulations and future projections of temperature and rainfall: A comparison of CMIP5 and CMIP6 models over Southeast Asia // *Atmospheric Research*. 2022. Vol. 265. P. 105927. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2021.105927>
9. *Weigel A. P., Knutti R., Liniger M. A., Appenzeller C.* Risks of model weighting in multimodel climate projections // *Journal of Climate*. 2010. Vol. 23. P. 4175–4191. <https://doi.org/10.1175/2010JCLI3594.1>
10. *Hamed M. M., Nashwan M. S., Shahid S.* Inter-comparison of Historical Simulation and Future Projection of Rainfall and Temperature by CMIP5 and CMIP6 GCMs Over Egypt // *International Journal of Climatology*. 2022. Vol. 42. P. 4316–4332. <https://doi.org/10.1002/joc.7468>
11. *Song Y. H., Nashwan M. S., Chung E. S., Shahid S.* Advances in CMIP6 INM-CM5 over CMIP5 INM-CM4 for precipitation simulation in South Korea // *Atmospheric Research*. 2021. Vol. 247. Article number 105261. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2020.105261>
12. *Eyring V., Bony S., Meehl G. A., Senior C. A., Stevens B., Stouffer R. J., Taylor K. E.* Overview of the Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) experimental design and organization // *Geoscientific Model Development*. 2016. Vol. 9. P. 1937–1958. <https://doi.org/10.5194/gmd-9-1937-2016>
13. *Shiru M. S., Chung E. S., Shahid S., Wang X.-J.* Comparison of precipitation projections of CMIP5 and CMIP6 global climate models over Yulin China // *Theoretical and Applied Climatology*. 2022. Vol. 147. P. 535–548. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-628014/v1>
14. *Song Y. H., Chung E. S., Shahid S.* Spatiotemporal differences and uncertainties in projections of precipitation and temperature in South Korea from CMIP6 and CMIP5 general circulation models // *International Journal of Climatology*. 2021. Vol. 41. P. 5899–5919. <https://doi.org/10.1002/joc.7159>
15. *Ortega G., Arias P. A., Villegas J. C., Marquet P. A., Nobre P.* Present-day and future climate over central and South America according to CMIP5/CMIP6 models // *International Journal of Climatology*. 2021. Vol. 41. P. 6713–6735. <https://doi.org/10.1002/joc.7221>
16. *Zamani Y., Hashemi Monfared S. A., Azhdari Moghaddam M., Hamidianpour M.* A comparison of CMIP6 and CMIP5 projections for precipitation to observational data: The case of Northeastern Iran // *Theoretical and Applied Climatology*. 2020. Vol. 142. P. 1613–1623. <https://doi.org/10.1007/s00704-020-03406-x>
17. *Chen C.-A., Hsu H.-H., Liang H.-C.* Evaluation and comparison of CMIP6 and CMIP5 model performance in simulating the seasonal extreme precipitation in the Western North Pacific and East Asia // *Weather and Climate Extremes*. 2021. Vol. 31. Article number 100303. <https://doi.org/10.1016/j.wace.2021.100303>
18. *Ayugi B., Jiang Z., Zhu H., Ngoma H., Babaousmail H., Karim R., Dike V.* Comparison of CMIP6 and CMIP5 models insimulating mean and extreme precipitation over East Africa // *International Journal of Climatology*. 2021. Vol. 41. P. 6474–6496. <https://doi.org/10.1002/joc.7207>
19. *Bourdeau-Goulet S. C., Hassanzadeh E.* Comparisons Between CMIP5 and CMIP6 Models: Simulations of Climate Indices Influencing Food Security, Infrastructure Resilience, and Human Health in Canada // *Earth’s Future*. 2021. Vol. 9. Article number e2021EF001995. <https://doi.org/10.1029/2021EF001995>
20. *Lun Y., Liu L., Cheng L., Li X., Li H., Xu Z.* Assessment of GCMs simulation performance for precipitation and temperature from CMIP5 to CMIP6 over the Tibetan Plateau // *International Journal of Climatology*. 2021. Vol. 41. P. 3994–4018. <https://doi.org/10.1002/joc.7055>
21. Наука и инновации – современные концепции: сборник научных статей по итогам работы Международного научного форума / ответственный редактор Д. Р. Хисматуллин. Москва : Инфинити, 2022. 236 с.
22. *Лобанов В. А., Кириллина К. С.* Современные и будущие изменения климата Республики Саха (Якутия). Санкт-Петербург : Издательство РГТМУ, 2019. 157 с.

Поступила в редакцию 16.11.2022; одобрена после рецензирования 05.12.2022; принята к публикации 16.12.2022  
The article was submitted 16.11.2022; approved after reviewing 05.12.2022; accepted for publication 16.12.2022



## ГЕОЛОГИЯ

Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Науки о Земле. 2023. Т. 23, вып. 1. С. 21–30

*Izvestiya of Saratov University. Earth Sciences*, 2023, vol. 23, iss. 1, pp. 21–30

<https://geo.sgu.ru>

<https://doi.org/10.18500/1819-7663-2023-23-1-21-30>, EDN: NBMIWE

Научная статья

УДК 553.623+552.331:551.781.3(47)

### Кварцевые песчаники сосновской толщи палеогена Ульяновско-Сызранского Поволжья (восток Русской плиты): вещественный состав и происхождение

С. О. Зорина<sup>1</sup>✉, Н. И. Афанасьева<sup>1</sup>, Н. Хамада<sup>1</sup>, К. И. Никашин<sup>1</sup>, М. Ю. Сокерин<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Казанский (Приволжский) федеральный университет, Россия, 420008, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Кремлевская, д. 18

<sup>2</sup>Института геологии имени академика Н. П. Юшкин ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Россия, 167982, г. Сыктывкар, ул. Первомайская, д. 54

Зорина Светлана Олеговна, доктор геолого-минералогических наук, профессор, [svzorina@yandex.ru](mailto:svzorina@yandex.ru), <https://orcid.org/0000-0001-6315-1672>

Афанасьева Надежда Иосифовна, кандидат геолого-минералогических наук, старший преподаватель, [n-afanasieva@rambler.ru](mailto:n-afanasieva@rambler.ru), <https://orcid.org/0000-0003-4335-9251>

Хамада Надия, аспирант, [nadia.m.hamada@gmail.com](mailto:nadia.m.hamada@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0003-3269-6842>

Никашин Константин Игоревич, аспирант, [kostya97@inbox.ru](mailto:kostya97@inbox.ru), <https://orcid.org/0000-0002-4749-9895>

Сокерин Михаил Юрьевич, кандидат геолого-минералогических наук, научный сотрудник лаборатории минералогии, [sokerin@geo.komisc.ru](mailto:sokerin@geo.komisc.ru), <https://orcid.org/0000-0001-7088-6845>

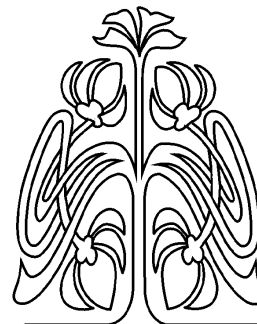
**Аннотация.** Кварцевые песчаники сосновской толщи палеогена широко распространены в Ульяновско-Сызранском Поволжье и обладают высоким минерагеническим потенциалом как ценное строительное сырье. В статье обосновывается континентальное происхождение сосновских песчаников на основе проведенного комплексного изучения особенностей их вещественного состава и микроструктуры методами петрографического, рентгеновского фазового и электронно-микроскопического анализа. Установлено, что источником свободного кремнезема для цементации обломочных зерен сосновских песчаников могли быть опоки и диатомиты нижнесызранской подсвиты. Дефицит кремнистого цемента и его крайне неравномерное распределение среди обломочных зерен указывают на локальное местоположение источника растворов, насыщенных свободным кремнеземом, которое, вероятнее всего, контролировалось палеорельефом. Электронно-микроскопические изображения и микронзондовый анализ отдельных микрокомпонентов песчаников свидетельствуют об активной бактериальной деятельности в условиях частых переходов суши в обширные заболоченные водоемы. Образование пиритовых фрамбоидов в цементирующей массе является признаком дефицита кислорода в морском или континентальном бассейне и активной деятельности магнетотактических бактерий. Рассмотрение сосновских песчаников под ракурсом их крайне неравномерного распределения в песчаной толще вследствие образования в континентальных условиях позволит разработать новые подходы прогнозирования этого ценного минерального сырья.

**Ключевые слова:** кварцевый песчаник, кремнезем, сосновская толща, палеоген, Ульяновско-Сызранское Поволжье, Русская плита

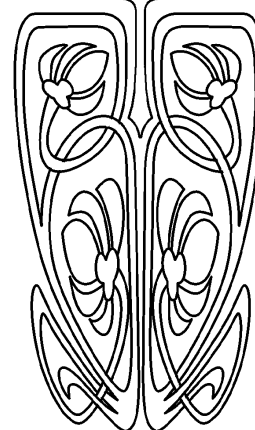
**Благодарности.** Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-27-00070, <https://rscf.ru/project/22-27-00070/>

**Для цитирования:** Зорина С. О., Афанасьева Н. И., Хамада Н., Никашин К. И., Сокерин М. Ю. Кварцевые песчаники сосновской толщи палеогена Ульяновско-Сызранского Поволжья (восток Русской плиты): вещественный состав и происхождение // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Науки о Земле. 2023. Т. 23, вып. 1. С. 21–30. <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2023-23-1-21-30>, EDN: NBMIWE

Статья опубликована на условиях лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY 4.0)



НАУЧНЫЙ  
ОТДЕЛ





Article

## Paleogene quartz sandstones of the Sosnovka Formation of the Uljanovsk-Syzran Volga region (Eastern Russian Platform): Mineral composition and origin

S. O. Zorina<sup>1</sup>✉, N. I. Afanasieva<sup>1</sup>, N. Hamada<sup>1</sup>, K. I. Nikashin<sup>1</sup>, M. Yu. Sokerin<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Kazan (Volga region) Federal University, 18 Kremlevskaya St., Kazan 420008, Tatarstan, Russia

<sup>2</sup>Institute of Geology of Komi Science Centre of the Ural Branch of Russian Academy of Sciences, 54 Pervomaiskaya St., Syktyvkar 167982, Russia

Svetlana O. Zorina, svzorina@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6315-1672>

Nadezhda I. Afanasieva, n-afanasieva@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4335-9251>

Nadia Hamada, nadia.m.hamada@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-3269-6842>

Konstantin I. Nikashin, kostya97@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4749-9895>

Mikhail Yu. Sokerin, sokerin@geo.komisc.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7088-6845>

**Abstract.** The Paleogene quartz sandstones of the Sosnovka formation are widely occurred in the Uljanovsk-Syzran Volga region and are used as valuable building materials. The article comprises an improvement for the continental origin of the Sosnovka sandstones based on the results of a comprehensive study of the features of the mineral composition and microstructure of quartz sandstones of the Sosnovka formation obtained by using petrographic, XRD and electron-microscopic analyses. The relevance of the study is based on the debatability of the origin of sandstones, the depletion of the mineral resource base of this type of mineral raw materials and the need to develop new approaches to its prediction. According to the results of the study, it was found that opokas and diatomites of the Lower Syzran subformation, brought up to the denudation surface, could be the source of free silica for the cementation of sand grains of the Sosnovka sandstones. The deficit of siliceous cement and its extremely irregular distribution among the clastic grains indicate the local and restrict occurrence of the source of solutions saturated with free silica, which, most likely, was controlled by paleorelief. Electron microscopic images and microprobe analysis of individual sandstone microcomponents indicate strong bacterial activity and frequent change of the land paleoenvironments to extensive marshy ones. The formation of pyrite framboids in the cementitic mass is a sign of oxygen deficit in the continental basin and the activity of magnetotactic bacteria. Whereas the decay of framboids is associated with dissolution of organic matter inside the framboids due to oxidation of the paleobasin. The results of the study leave no doubt about the non-marine origin of the sandstones studied, hence, we should not assume the presence of extended bodies of sustained thickness when solving prognostic-mineralogical problems. The Sosnovka sandstones are of extremely irregular distribution in the sandy sequence and formation in extremely continental pedological conditions will allow us to solve the important task of improving approaches to the prediction of new objects of this valuable mineral resource in the Ulyanovsk-Syzran Volga region.

**Keywords:** quartz sandstone, silica, Sosnovka Formation, Paleogene, Ulyanovsk-Syzran Volga region, Russian Platform

**Acknowledgments.** The research is supported by the grant of the Russian Science Foundation (project No. 22-27-00070, <https://rscf.ru/en/project/22-27-00070>).

**For citation:** Zorina S. O., Afanasieva N. I., Hamada N., Nikashin K. I., Sokerin M. Yu. Paleogene quartz sandstones of the Sosnovka Formation of the Uljanovsk-Syzran Volga region (Eastern Russian Platform): Mineral composition and origin. *Izvestiya of Saratov University. Earth Sciences*, 2023, vol. 23, iss. 1, pp. 21–30 (in Russian). <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2023-23-1-21-30>, EDN: NBMIWE

This is an open access article distributed under the terms of Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC0-BY 4.0)

## Введение

В палеогеновых отложениях Ульяновско-Сызранского Поволжья (УСП) широко распространены кварцевые пески и песчаники мощностью 40–150 м, которые выделяются в палеоценовую сосновскую толщу [1]. Мономинеральный состав, структурно-текстурная однородность и значительные мощности обусловили высокий промышленный потенциал данной песчаной толщи. В частности, пески являются ценным стекольным, силикатным и строительным сырьем. Песчаники пригодны для производства бутового камня, щебня для бетонов и дорожного строительства [2, 3].

Но, несмотря на высокую степень изученности, вопрос о происхождении как самих песков, так и залегающих в них линзовидных конкреционных песчаников до последнего времени остается дискуссионным. Актуальность настоящего исследования обусловлена, таким образом, необходимостью установления условий образования сосновских песчаников для разработки

усовершенствованных подходов к прогнозированию новых залежей в связи с исчерпанием минерально-сырьевой базы данного вида сырья в УСП. В статье приведены новые данные о комплексном изучении вещественного состава сосновских песчаников, позволяющие приблизиться к решению вопроса об их генезисе и выйти на новый уровень прогнозных построений.

## 1. Геологическое строение

Сосновская толща развита в УСП в виде меридионально простирающихся полос шириной от 5–10 км и длиной до 50–60 км. Литологически она представлена песками светло- и желтовато-серыми, кварцевыми и глауконит-кварцевыми, средне-, мелко- и тонкозернистыми, с линзами конкреционных светло-серых и серых кварцитовидных и опоковидных песчаников. Участками в толще песков наблюдаются отдельные прослои опок, диатомитов и трепелов [4, 5].



Толща отличается крайне неравномерным распространением, несогласно перекрывает верхнемеловые породы, участками залегает на опоках нижней подсвиты сызранской свиты палеоцена, в виде отдельных «язычков» внедряется в опоки и диатомиты сызранской свиты, замещает их на разных уровнях разреза. На отдельных участках пески сосновской толщи фашиально полностью замещают породы верхне-сызранской подсвиты, в этих случаях отложения сосновской толщи непосредственно перекрыты песками саратовской свиты, образуя единую толщу песков [6–8].

Характерным признаком сосновской толщи является присутствие в ее разрезе линзовидно-конкреционных прослоев серых и розовато-серых кварцитовидных кварцевых песчаников мощностью 0,5–6,5 м, длиной 15–1500 м. Как отмечает в своем отчете Т. И. Личман (1968ф),

проводившая поисковые и поисково-оценочные работы по выявлению месторождений кварцевых песчаников и строительных песков для действующего Кучуровского щебеночного завода в Ульяновском, Сенгилеевском и Тереньгульском районах Ульяновской области, нет ни одного сколько-нибудь похожего разреза даже на расстоянии 10–15 м. На некоторых участках в слабых песчаниках наблюдаются гнезда, линзы и неправильные прослои «сливного» песчаника мощностью от 0,1 до 10 и более метров. Песчаные тела могут быть наклонны и даже вертикальны. Тела песчаника разобщены между собой в толще песка мощностью 1–21 м.

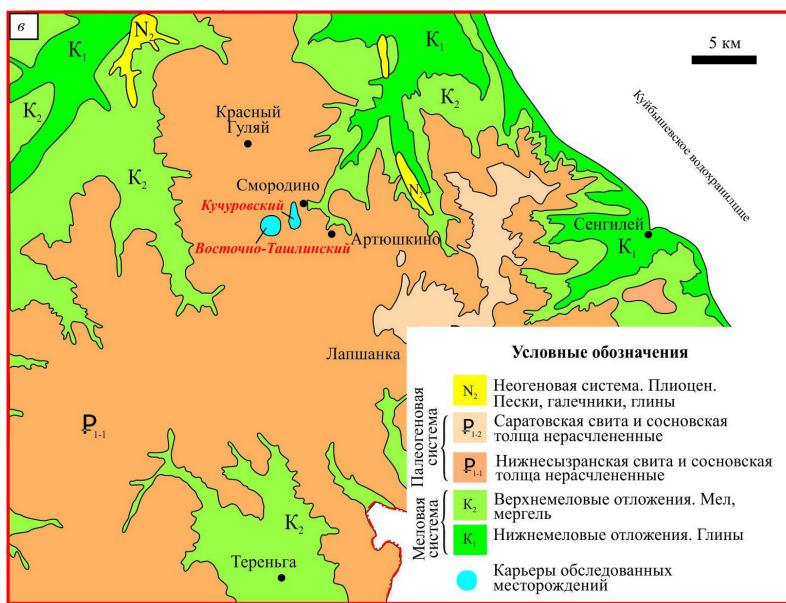
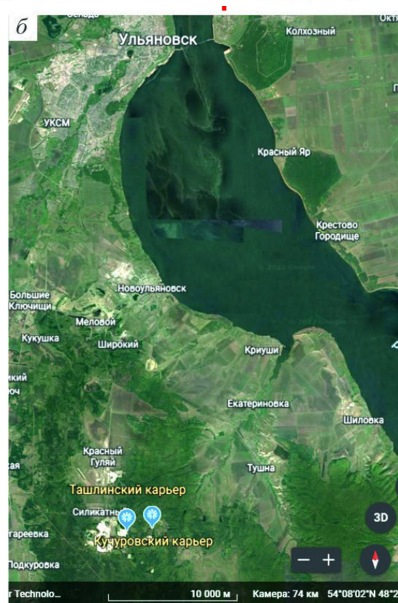
Объектом настоящего исследования выбраны сосновские конкреционные песчаники, вскрывающиеся в карьерах Кучуровского и Восточно-Ташлинского месторождений песчаников и песков, расположенных в Сенгилеевском районе Ульяновской области (рис. 1, а–в).

## 2. Материал и методы

В 2021–2022 гг. авторами проведено полевое геологическое изучение и опробование разрезов сосновской толщи, вскрывающихся в карьерах Кучуровского месторождения песчаников и Восточно-Ташлинского месторождения кварцевых песков (рис. 2, а–г), а также выполнено аналитическое изучение их вещественного состава. В комплекс методов по определению компонентного состава песчаников и их микроструктур-



Рис. 1. Местоположение Восточно-Ташлинского и Кучуровского карьеров на географической схеме (а), Google-карте (б), геологической карте юго-востока Ульяновской области (по данным из отчета Т. И. Личман (1989) с изменениями и дополнениями) (в) (цвет онлайн)





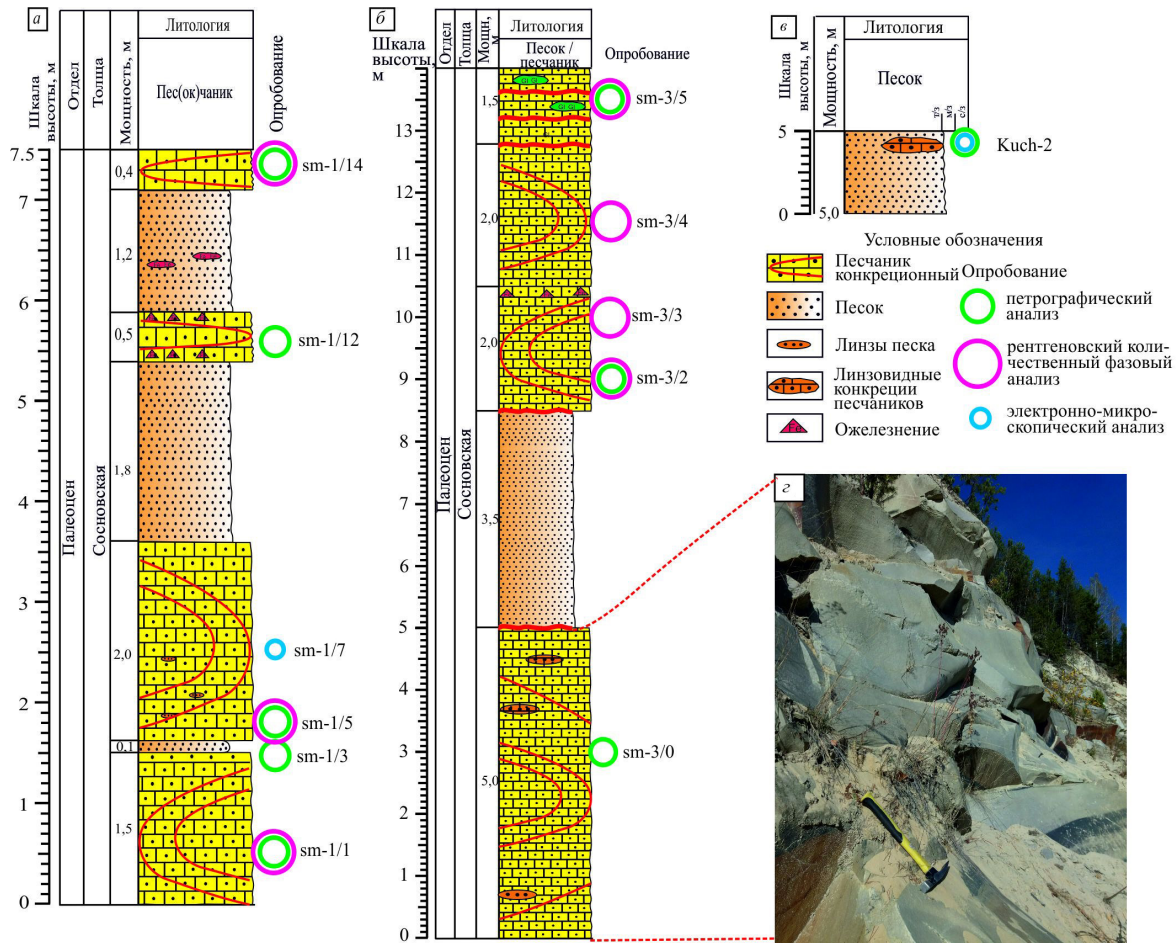


Рис. 2. Литологическое строение разрезов и опробование песчаников сосновской толщи в карьере Кучуровского месторождения в точках наблюдения Sm-1 (а), Sm-3 (б) и карьере Восточно-Ташлинского месторождения (в). Фото песчаников в Кучуровском карьере (з) (цвет онлайн)

ных особенностей входили: петрографический, рентгеновский количественный фазовый анализ (РКФА) и электронная микроскопия с микрозондовым анализом.

Петрографический анализ 8 шлифов выполнен с применением оптического поляризационного микроскопа Carl Zeiss AxioLab с цифровой камерой AxioCam 506 color. Рентгенографические исследования 5 проб песчаников проводились на дифрактометре D2 Phaser (Bruker). Дифрактограммы были сопоставлены с эталонными дифрактограммами международной картотеки порошковых рентгенографических стандартов PDF-2 ICDD.

Электронно-микроскопические изображения и энерго-дисперсионные спектры 2 проб получены на растровом электронном микроскопе XL-30 ESEM (Phillips) с ЭДС-анализатором EDAX.4. Все аналитические исследования выполнены в лабораториях Института геологии и нефтегазовых технологий (ИГиНГТ) КФУ.

Полученные аналитические данные были сопоставлены и дополнены результатами изучения

вещественного состава песчаников, приведенными в 20 фондовых отчетах, 30 паспортах объектов Государственного кадастра месторождений и проявлений полезных ископаемых и 5 объяснительных записках к изданным листам Госгеолкарты-1000 [6] и Госгеолкарты-200 [4, 5, 7, 8].

### 3. Результаты аналитических исследований

**3.1. Петрографический анализ.** Изучение песчаников в шлифах показало, что их состав и структурно-текстурные особенности характеризуются постоянством вне зависимости от пункта отбора пробы по разрезу и пространственной удаленности точек отбора друг от друга. Это согласуется с результатами петрографического изучения сосновских песчаников, приведенными в многочисленных фондовых источниках.

Песчаники имеют кварцевый состав (90–95%), преимущественно средне-, мелкозернистую и мелкозернистую структуру, опал-халцедоновый контактовый и пленочный цемент (рис. 3, а–г). В единичных количествах встречаются зерна калиевого полевого шпата, плагиоклаза,

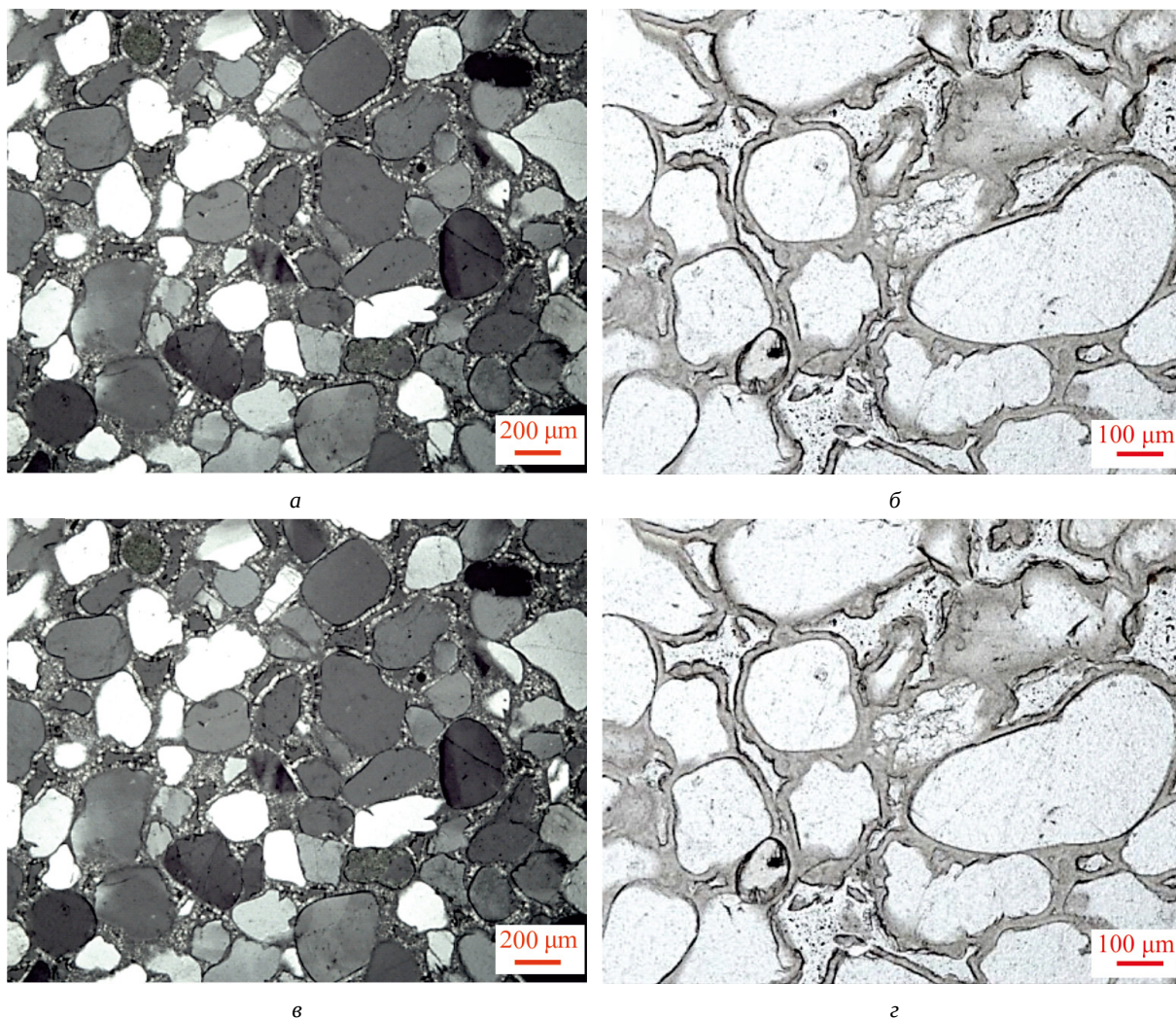


Рис. 3. Микрофотографии шлифов: *а* – обр. Sm-1/12, песчаник средне-, мелкозернистый с опал-халцедоновым пленочным цементом, николи скрещены, ув. 50; *б* – обр. Sm-1/5, песчаник средне-, мелкозернистый, с опал-халцедоновым контактово-пленочным цементом, николи параллельны, ув. 100; *в* – обр. Sm-1/14, песчаник средне-, мелкозернистый с халцедоновым пленочным цементом, открытой пористостью, николи скрещены, ув. 200; *г* – обр. Sm-3/2, песчаник кварцевый мелкозернистый с опал-халцедоновым цементом и крупной порой в центре, николи параллельны, ув. 50 (цвет онлайн)

глауконита, сфена, циркона, мусковита, обломки кремнистых пород и кварцитов.

В целом преобладают зерна мелкого размера (0,1–0,25 мм), в меньших количествах присутствуют зерна среднего размера (0,25–0,5 мм), реже – до 0,8 мм. Сортировка породы в целом хорошая, но может изменяться от средней до очень хорошей. Какой-либо закономерности в распределении сортировки по разрезу в песчаниках не прослеживается. Зерна в основном окатанные (50–80%), реже угловато-окатанные (20–50%). Они имеют свежий облик, но отдельные различия отличаются мозаичным погасанием, трещиноватостью и корродированностью.

Цемент песчаников (10–20%) опал-халцедоновый, в основном халцедоновый контактово-пленочный (см. рис. 3, б) и пленочный (см.

рис. 3, а, в), реже – опаловый поровый и базальный (см. рис. 3, г). Пористость носит неравномерный характер, так как связана с дефицитом цемента и частичным незаполнением межзернового пространства, она составляет 5–15%. Текстура песчаников беспорядочная.

### 3.2. Рентгеновский количественный фазовый анализ.

Компонентный состав песчаников сосновской толщи, по данным РКФА, полностью согласуется с результатами петрографического изучения и отличается постоянством во всех изученных пробах (таблица). Обломочная часть песчаников представлена кварцем (82–95%) и микроклином (0–5%). Наиболее заметные изменения в составе пород связаны с вариативностью количества цемента, в составе которого диагностированы квазикристаллические разновидности



## Результаты РКФА песчаников Кучуровского месторождения

Номер проб	Содержание, мас.%					
	кварц	тридимит	кристобалит	гематит	микроклин	доломит
Sm 1/1	88	10	2	–	–	
Sm 1/5	95	3	1	1	–	
Sm 1/14	82	15	3	–	–	
Sm 3/2	95	4	1	–	–	
Sm 3/3	92	1	1	–	5	1
Sm 3/4	96	2	1	1	–	
Sm 3/5	92	6	2	–	–	

кремнезема – кристобалит (1–3%) и тридимит (1–15%). Из аксессуаров и примесей рентгеновским анализом удалось определить гематит в составе двух проб Sm-1/5 и Sm-3/4 и доломит в составе пробы Sm-3/3.

Примечательно, что в составе опал-кристобалит-тридимитовой фазы, обычно диагностируемой на дифрактограммах как единая фаза, преобладает наиболее раскристаллизованная разновидность кремнезема – тридимит, которая в шлифах выглядит как халцедон, обволакивающий зерна кварца. Учитывая, что первичный аморфный кремнезем, участвующий в цементации песков, является крайне неустойчивой субстанцией и стремится перейти в более устойчивое состояние, по данным РКФА, становится очевидным, что основная его часть перешла из аморфного состояния в квазикристаллическое и находится в процессе раскристаллизации.

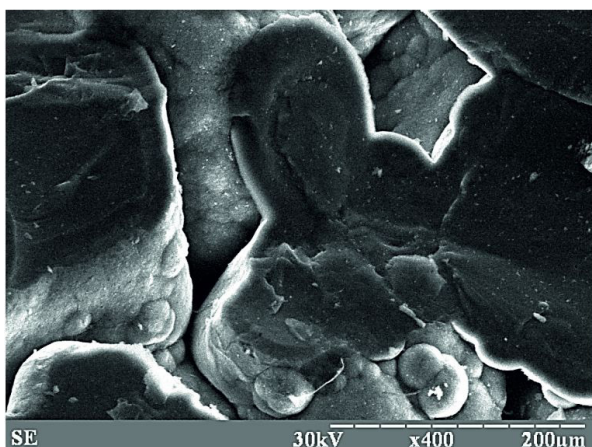
**3.3. Электронно-микроскопическое изучение конкреционного песчаника из Кучуровского карьера (Sm-1/7)** показало, что обломочные зерна (размером 50–100 мкм) окаймлены 30–50-микронной оболочкой кремнистого цемента, который скрепляет зерна (рис. 4, а). Поверхность кремнистой оторочки покрыта мелкими

новообразованными глобулями кремнезема. Отчетливо видны открытые поры в межзерновом пространстве. Электронно-микроскопическое изображение раковистого микроскопа песчаника, подтверждающего аморфную структуру его кремнеземистого цемента, приведено на рис. 4, б.

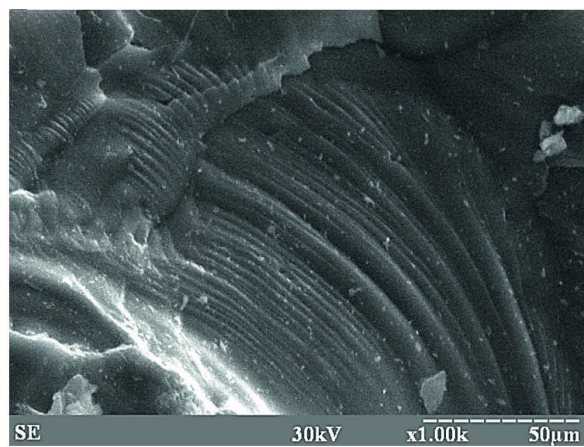
Крайне интересные данные получены при электронно-микроскопическом и микронзондовом исследовании пробы песчаника из Восточно-Ташлинского карьера (проба Kuch-2). Макроскопически песчаник представляет собой причудливое конкреционное образование вытянутой формы длиной 20 см.

В цементирующей массе отмечаются округлые пустоты размером 0,003–0,008 мм, поверхность которых сильно выщелочена (рис. 5, а, б).

Некоторые пустоты выполнены фрамбоидальными образованиями, в составе которых, помимо пирита и алюмосиликатов натрия и калия, присутствует фосфор (см. рис. 5, б). В цементирующей массе отмечается обилие пустот выщелачивания микрокристаллов пирита октаэдрического габитуса, которые образовались после распада фрамбоидов на отдельные микрокристаллы и последующего их выщелачивания.



а



б

Рис. 4. Электронно-микроскопическое изображение песчаника Sm-1/7: а – пористая микроструктура и пленочный цемент; б – раковистый микроскоп

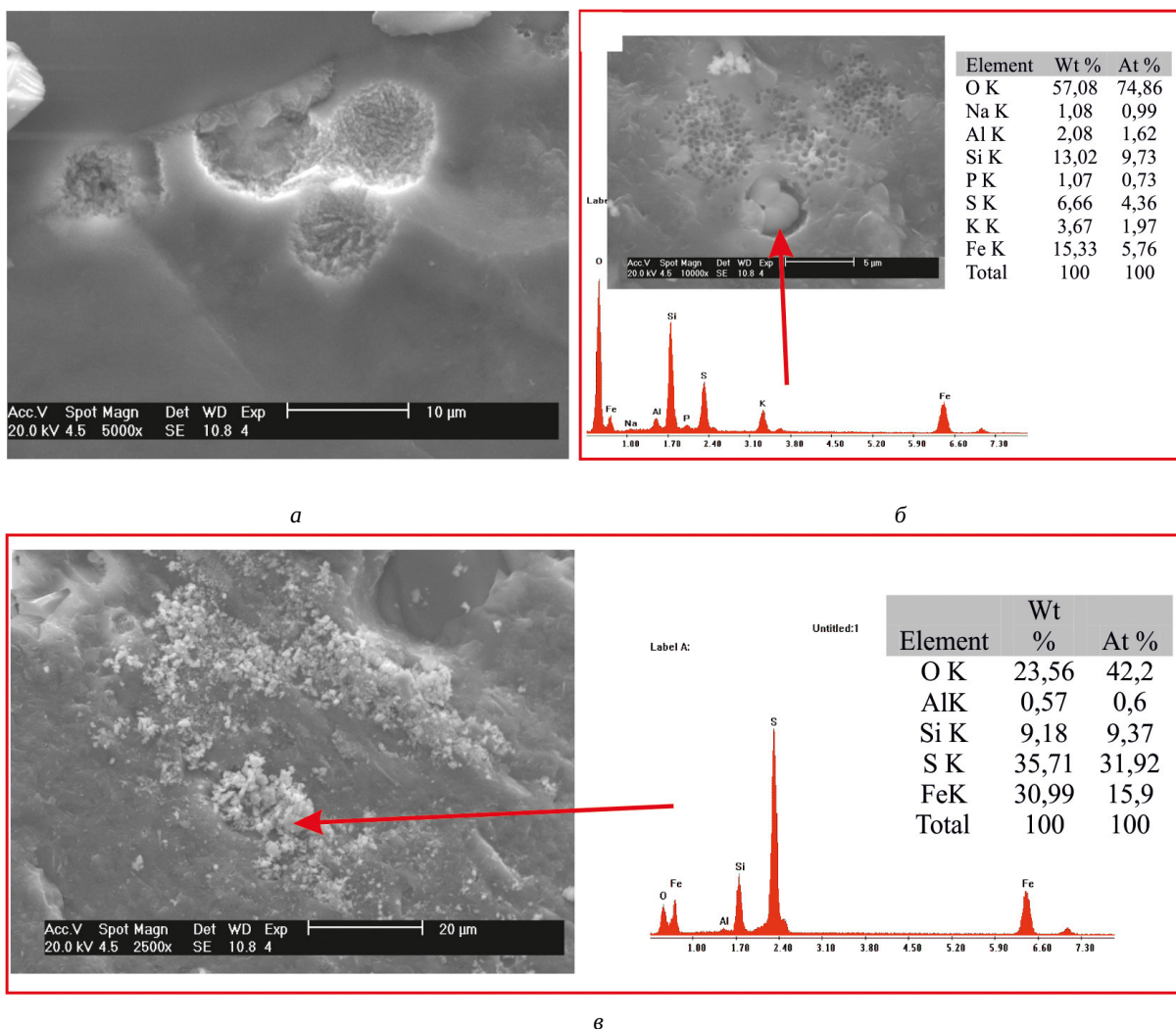


Рис. 5. Электронно-микроскопические изображения и энерго-дисперсионные спектры бактериальных образований в кремнеземистом цементе песчаника Kuch-2: а, б – выщелаченные пустоты, заполненные фрамбоидальными образованиями; в – хлопьевидные пиритовые агрегаты (цвет онлайн)

В кремнистом цементе видны скопления хлопьевидных агрегатов, представленных преимущественно пиритом (см. рис. 5, б). Вероятнее всего, это продукты распада пиритовых фрамбондов, не прошедших стадию полного растворения.

#### 4. Обсуждение результатов

Известно, что кремнистые конкреционные образования распространены как в карбонатных породах, где они встречаются в виде криптористаллических кремней, так и в песчаниках, где кремнезем образует «оболочки», или «кокарды», вокруг обломочных зерен кварца или отдельные каплевидные сгустки на контакте зерен и тем самым цементирует их [9]. Выпадение кремнезема из раствора происходит в слабощелочных условиях, хотя точные химические условия осаждения кремнезема с образованием опок и кремней плохо изучены. По мнению многих исследова-

телей, сцементированные кремнеземом участки в песках, вероятнее всего, образовались в континентальных педологических условиях [9].

Многие исследователи предполагают, что снижение температуры насыщенных кремнеземом растворов является основным механизмом его осаждения. Предполагается, что источник кремнезема носит локальный характер и расположен в непосредственной близости от области, где пески преобразуются в песчаники [10].

Один из вероятных механизмов образования кремнистого цемента в кварцевых песчаниках предложен Петтиджоном (Pettijohn) с соавторами [11]. Благодаря способности относительно быстрого выпадения опала из раствора, поровые воды, насыщенные опаловой фазой, не могут проникать через песчаную толщу на значительные расстояния. Предполагается, что источник кремнезема может быть связан с поверхностными водами, проникающими в песчаную толщу



через почвенную зону, в нижней части которой, как известно, происходит обогащение кремнеземом проникающих через почву поверхностных вод [10].

Источником свободного кремнезема для цементации песчаных зерен сосновской толщи могли быть опоки и диатомиты нижнесызранской подсвиты. Данное предположение было выдвинуто при изучении палеогеновых отложений Поволжья в конце прошлого века [12, 13] и подтверждается результатами настоящего исследования. Очевидно, что после вывода нижнесызранских опок и диатомитов на поверхность размыв этой толщи метеорными водами мог способствовать образованию насыщенных кремнеземом растворов, распределение которых в проницаемой песчаной толще контролировалось палеорельефом и не могло носить равномерный характер.

Проведенное комплексное изучение сосновских песчаников подтверждает данный механизм образования сливных песчаников. Так, халцедоновый и опаловый состав цемента, его пленочный и даже «капельный» тип, явный дефицит цемента и высокая открытая пористость песчаников являются свидетельством локального поступления цементирующего вещества и, как следствие, крайне неравномерного залегания песчаников в разрезе и по латерали.

Электронно-микроскопические изображения микроструктуры песчаников и микрозондовый анализ отдельных микрокомпонентов указывают на активную бактериальную деятельность в условиях частых переходов суши в обширные заболоченные водоемы. Образование пиритовых фрамбоидов в цементирующей массе является признаком дефицита кислорода в морском или континентальном бассейне седиментации и активной деятельности магнетотактических бактерий [14, 15].

В континентальных условиях, при почвообразовании, процесс сульфидообразования активизируется при поступлении сульфатных подземных вод к поверхности, при этом образование сульфидов происходит при активном участии сульфатредуцирующих бактерий [16]. При взаимодействии сульфидов с углекислотой, выделяющейся при разложении органических остатков, образуются углекислые соли и сероводород. Данные процессы чаще всего встречаются в аридных экосистемах [16].

Пиритовые фрамбоиды, которые по форме не отличаются от колонии магнетотактических бактерий [14], при поступлении кислорода распадаются на отдельные микрокристаллы [17], так как связывающее их органическое вещество окисляется, а микрокристаллы пирита рассеиваются по породе, что свидетельствует о смене аноксических условий среды на окисческие (см. рис. 5, б).

Вероятнее всего, при оксидизации значительная часть сульфидного железа переходит в гидроксидное состояние, о чем свидетельствуют пустоты выщелачивания пиритовых микрокристаллов и новообразованные железосодержащие агрегаты (см. рис. 5 б, в). Оксиды и гидроксиды железа образуют определенный ряд устойчивости, а нестабильные оксиды железа – ферригидрит и ферроксицит – могут свидетельствовать об оксидогенезе, а также об интенсивной активности железобактерий [18]. С течением времени ферроксицит спонтанно переходит в гематит, а ферригидрит дегидратируется в гематит (при подщелачивании среды ферригидрит начинает кристаллизоваться, также возрастает доля гематита) [18]. Примечательно, что, по данным проведенного нами РКФА, в составе сливных песчаников проб Sm-1/5 и Sm-3/4 выявлено достаточно значительное (1%) содержание гематита. Образование и дальнейшее преобразование нестабильных оксидов железа связано с быстрым окислением двухвалентного железа, которое происходит при участии микроорганизмов [18] в условиях высокой химической активности почвенных вод.

Округлые пустоты выщелачивания, обнаруженные в кремнистом цементе изученных песчаников (см. рис. 5 а, б), некоторые из которых заполнены рыхлыми продуктами переработки цемента, являются неоспоримым доказательством активной бактериальной деятельности. Фрамбоидальные образования с высоким содержанием фосфора, заполняющие пустоты (см. рис. 5, б), также указывают на активную жизнедеятельность бактерий. Причем очевидно, что данный процесс происходил в условиях суши, при почвообразовании. Минералы гидроксидов железа и алюминия встречаются в иллювиальных горизонтах подзолистых почв [19]. Гидроксиды железа и алюминия могут образовывать малоподвижные формы, связывая значительное количество фосфорной кислоты. А фрамбоидальная форма данных образований не оставляет сомнений сильного бактериального воздействия.

Вообще, химизм процессов, происходящих при участии микроорганизмов, крайне сложен, сами процессы неустойчивы, а обстановки могли меняться с континентальных поверхностных на континентальные озерные и болотные.

Результаты исследования не оставляют сомнений в неморском происхождении сосновских песчаников, следовательно, при решении прогнозно-минерогенических задач не следует предполагать наличие протяженных тел выдержанной мощности. Рассмотрение сосновских песчаников под ракурсом их крайне неравномерного распределения в песчаной толще и формирования в исключительно континентальных педологических обстановках позволит решить важную задачу по совершенствованию подходов к про-



гнозированию новых объектов этого ценного минерального сырья в УСП.

### Заключение

Комплексное изучение особенностей вещественного состава и микроструктуры кварцевых песчаников сосновской толщи показало, что их образование происходило в условиях континентальной педологической обстановки.

Источником свободного кремнезема для цементации песчаных зерен сосновских песчаников могли быть опоки и диатомиты нижнесызранской подсистемы, выведенные на денудационную поверхность. Дефицит кремнистого цемента и его крайне неравномерное распределение среди обломочных зерен указывают на локальное местоположение источников растворов, насыщенных свободным кремнеземом, которое, вероятнее всего, контролировалось палеорельефом.

Электронно-микроскопические изображения и микронзондовый анализ отдельных микроскомпонентов песчаников свидетельствуют об активной бактериальной деятельности в условиях частых переходов суши в обширные заболоченные водоемы. Образование пиритовых фрамбондов в цементирующей массе является признаком дефицита кислорода в бассейне и активной деятельности магнетотактических бактерий.

Результаты исследования показали, что при прогнозных построениях не следует предполагать наличие протяженных тел песчаников выдержанной мощности. Рассмотрение сосновских песчаников под ракурсом их крайне неравномерного распределения в песчаной толще позволит усовершенствовать подходы к прогнозированию новых объектов этого ценного минерального сырья в УСП.

### Библиографический список

1. Ахметьев М. А., Шик С. М., Алексеев А. С. Унифицированная стратиграфическая схема палеогеновых отложений Поволжско-Прикаспийского субрегиона: объяснительная записка. Москва : МФ ВСЕГЕИ, 2014. 96 с.
2. Дистанов У. Г., Гимадеев Р. А. Песчаники палеогена Ульяновского Поволжья, их состав и свойства // Стратиграфия, палеогеография и полезные ископаемые кайнозоя Среднего Поволжья / Труды Геологического института. Вып. 19. Казань, 1968. С. 156–168.
3. Сенаторов П. П., Власова Р. Г., Вяткина Л. Ю., Садыков Р. К., Чуприна Н. С., Мурадымова В. М., Нуруллин М. З., Слободянка З. П., Шамажка О. И., Гонюх В. М., Будько В. К., Будько Т. И., Богатырев О. С., Гейгер Ю. В., Пригода В. К., Лисенков А. А., Шпагин М. М., Рахимов Р. З., Русина Л. П., Колесник А. А., Мутыгуллин Р. Х., Саденко С. М., Прошин А. П., Терехин В. И., Газеев Н. Х., Кравцов С. И., Санин В. И., Турова А. В., Полякова Т. И., Гаврилов Г. М., Арбатова А. А., Рябкин В. В. Минерально-производственный

комплекс неметаллических полезных ископаемых Ульяновской области / главные редакторы Н. Н. Ведерников, С. И. Кравцов. Казань : Казанский госуниверситет, 2002. 156 с.

4. Жукова Г. А., Турова А. В., Каримова Х. Х., Золотарев В. П., Емельченко Н. А., Сидоров Е. Г., Бурнаев В. С. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 200 000. Серия Средневожская. Лист N-39-ХIII (Ульяновск) : объяснительная записка. Москва : МФ ВСЕГЕИ, 2013. 194 с.

5. Жукова Г. А., Турова А. В., Каримова Х. Х., Золотарев В. П., Шамсутдинов Р. Х., Сидоров Е. Г., Бурнаев В. С. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 200 000. Серия Средневожская. Лист N-38-ХVIII (Майна) : объяснительная записка. Москва : МФ ВСЕГЕИ, 2013. 151 с.

6. Кузьмин А. Н., Кириков В. П., Лукьянова Н. В., Бахтеев А. Р., Коссовая О. Л., Евдокимова И. О., Горбачевич Н. Р., Саванин В. В., Котляр Г. В., Алексеев М. А., Вукс В. Я., Триколиди Ф. А., Самсонов А. В., Богданов С. В., Спиридонов В. А., Пантелева Е. С., Енгальчев С. Ю., Ларионов А. Н., Курдюков Е. Б., Постников А. В. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1 : 1 000 000. Третье поколение. Серия Центрально-Европейская. Лист N-38 – Пенза : объяснительная записка. Санкт-Петербург : МФ ВСЕГЕИ, 2019. 406 с., 20 вкл.

7. Никитин В. Н., Бурнаев В. С., Жукова Г. А., Шамсутдинов Р. Х., Золотарев В. П., Каримова Х. Х., Сидоров Е. Г., Адаменко Т. В., Падалица А. З. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 200 000. Серия Средневожская. Лист N-38-XXIV (Барыш) : объяснительная записка. Москва : МФ ВСЕГЕИ, 2013. 141 с.

8. Никитин В. Н., Бурнаев В. С., Жукова Г. А., Шамсутдинов Р. Х., Золотарев В. П., Каримова Х. Х., Сидоров Е. Г., Адаменко Т. В., Падалица А. З. Государственная геологическая карта Российской Федерации: объяснительная записка. Москва : МФ ВСЕГЕИ, 2013. 175 с.

9. Collinson J. D., Mountney N. P., Thompson D. B. Sedimentary structures. Third edition. Harpenden : Terra Publishing, 2006. 358 p.

10. Boggs S. (Jr) Petrology of sedimentary rocks. Second edition. Cambridge : Cambridge University Press, 2009. 600 p.

11. Pettijohn F. J., Potter P. E., Siever R. Sand and Sandstone. Second edition. New York, NY : Springer-Verlag, 1987. 553 p.

12. Муравьев В. И., Цеховский Ю. Г., Каледа К. Г., Бабушкин Д. А., Суворов А. И. Процессы окремнения в палеогеновых песчаниках Восточно-Европейской платформы // Литология и полезные ископаемые. 1997. Т. 2. С. 150–162.

13. Цеховский Ю. Г. Седиментогенез и геодинамика в пограничную мел-палеогеновую эпоху пенепленезации континентов. Сообщение 1. Центральная и восточная Евразия // Литосфера. 2015. № 1. С. 5–23.

14. Farina M., Esquivel D. M. S., Barros H. G. de P. L. Magnetic iron-sulphur crystals from a magnetotactic microorganism // Nature. 1990. Vol. 343. P. 256–258. <https://doi.org/10.1038/343256a0>



15. Raiswell R., Berner R. A. Pyrite formation in euxinic and semi-euxinic sediments // American Journal of Science. 1985. Vol. 285. P. 710–724.
16. Хайрулина Е. А. Проявление сульфидогенеза в таёжных ландшафтах Западного Прикамья в условиях техногенного галогенеза // Минералогия и геохимия ландшафта горнорудных территорий. Рациональное природопользование. Современное минералообразование. Чита : Поиск, 2014. С. 60–64.
17. Zorina S. O., Pavlova O. V., Galiullin B. M., Morozov V. P., Eskin A. A. Euxinia as a dominant process during OAE1a (Early Aptian) on the Eastern Russian Platform and during OAE1b (Early Albian) in the Middle Caspian // Science China. Earth Sciences. 2017. Vol. 60. P. 58–70. <https://doi.org/10.1007/s11430-016-0043-1>
18. Каздым А. А. Археологическая минералогия в современной минералогии. Проблемы и перспективы. URL: <http://viperson.ru/articles/arheologicheskaya-mineralogiya-v-sovremennoy-mineralogii-problemy-i-perspektivy/> (дата обращения: 28.05.2022).
19. Почва – полиминеральная система // Сайт Зооинженерного факультета МСХА им. К. А. Тимирязева. URL: <https://www.activestudy.info/pochva-polimineralnaya-sistema/> (дата обращения: 06.06.2022).

Поступила в редакцию 23.11.2022; одобрена после рецензирования 05.12.2022; принята к публикации 16.12.2022  
The article was submitted 23.11.2022; approved after reviewing 05.12.2022; accepted for publication 16.12.2022



Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Науки о Земле. 2023. Т. 23, вып. 1. С. 31–38  
*Izvestiya of Saratov University. Earth Sciences*, 2023, vol. 23, iss. 1, pp. 31–38  
<https://geo.sgu.ru>

<https://doi.org/10.18500/1819-7663-2023-23-1-31-38>, EDN: QNGTYP

Article

## Lithofacies interpretation at the upper part of the Pokurskaya formation in the Cenomanian succession, the north of the West Siberian Basin



N. Mohammad<sup>1,2</sup>✉, N. Hamada<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Kazan Federal University, 18 Kremlyovskaya St., Kazan 420008, Russia

<sup>2</sup>Damascus University, Al-baramka, Damascus, Syria

Mohammad Nosheen, [nosheen.g.mohammad@gmail.com](mailto:nosheen.g.mohammad@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-3893-041X>

Hamada Nadia, [nadia.m.hamada@gmail.com](mailto:nadia.m.hamada@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0003-3269-6842>

**Abstract.** The lithofacies of the Cenomanian succession within a gas field in the north of the West Siberian basin were studied using well log information especially spontaneous potential log to determine the lithostratigraphy, hydrodynamic characteristics, possible reservoir sands and depositional environment of the study area for opportunities that will support the exploration program. Geophysical well logs from six profile wells were used for this study. The lithostratigraphic model and sequence-stratigraphic frame were developed using spontaneous potential log curves to identify lithic units like sand, silt and mud. The depositional environments penetrated by the wells interpreted from log signatures gave four main types of lithofacies: Foreshore, Regressive Shoreface; Transgressive Shoreface; Discontinuous Currents were recognized from the stacking patterns of the spontaneous potential curves by modified electro facies classification. The stratigraphic column of the wells was subdivided into parasequences composing four sequences within the regional stratigraphic trend.

**Keywords:** Pokurskaya formation, Cenomanian age, spontaneous potential log, lithofacies, depositional environments, sequence stratigraphy

**For citation:** Mohammad N., Hamada N. Lithofacies interpretation at the upper part of the Pokurskaya formation in the Cenomanian succession, the north of the West Siberian Basin. *Izvestiya of Saratov University. Earth Sciences*, 2023, vol. 23, iss. 1, pp. 31–38 (in Russian). <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2023-23-1-31-38>, EDN: QNGTYP

This is an open access article distributed under the terms of Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC-BY 4.0)

Научная статья

УДК 551.7.022

**Литофаціальна інтерпретація сеноманських відкладень на севері західно-сибирського нафтогазоносного басейна**

Н. Мохаммад<sup>1,2</sup>✉, Н. Хамада<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Казанський (Приволзький) федеральний університет, Росія, 420008, г. Казань, ул. Кремлевская, д. 4/5

<sup>2</sup>Дамаський університет, Аль-Барамка, Дамаск, Сирія

Мохаммад Ношін, <sup>1</sup>магістрант, <sup>2</sup>асистент преподавателя, [nosheen.g.mohammad@gmail.com](mailto:nosheen.g.mohammad@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-3893-041X>

Хамада Надія, <sup>1</sup>аспірант, <sup>2</sup>асистент преподавателя, [nadia.m.hamada@gmail.com](mailto:nadia.m.hamada@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0003-3269-6842>

**Анотація.** Литофації покурської свити (ПС) (в складі сеноманських відкладень) в межах газового родовища на севері Західно-Сибірського басейна були вивчені на основі даних електрокаротажа скважин. Дані кривих покурської свити були використані для інтерпретації літології, гідродинамічних характеристик і умов осадконакоплення на досліджуваній території. Аналізувався матеріал шести профільних скважин. Були ідентифіковані літоєдиниці по співвідношенню  $\alpha$ ПС і медіанного розміра зерен. По сигнатурам кривих ПС виділені фації устьєвих барів і пляжей, фацій вдовльберегових барів (регресивних і трансгресивних) і прибережних валів і фацій розривних течій, згідно модифікованої класифікації електрометричних фацій. На основі фаціальної моделі виділені парасеквенсы, що складаються з чотирьох секвенс, що відповідають регіональному стратиграфічному тренду і розподіленню резервуарних властивостей.

**Ключевые слова:** покурская свита, сеноманские отложения, электрометрические модели фаций, обстановки осадконакопления, секвенс-стратиграфия

**Для цитування:** Мохаммад Н., Хамада Н. Литофаціальна інтерпретація сеноманських відкладень на севері західно-сибирського нафтогазоносного басейна // *Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Науки о Земле*. 2023. Т. 23, вып. 1. С. 31–38. <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2023-23-1-31-38>, EDN: QNGTYP

Статья опубликована на условиях лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY 4.0)





## Introduction

The Pokurskaya Formation (Fm.) is one of the main hydrocarbon reservoirs in the North West Siberian basin. The Pokurskaya Fm (the Aptian-Cenomanian) consists of sandstones, siltstones, and mudstones formed in shallow desalinated and continental sedimentary environments [1]. The formation is about 800 m thick depending on the regional setting. We are interested in the log lithofacies and sequences of the Cenomanian part of the Pokurskaya Fm about 200 m thick.

R. C. Selley was the first (1978) [2] who considered the shapes of well-log curves as the fundamental tool for understanding depositional facies, since log shape is directly linked to the grain size of rock successions. Following works, e.g. (V. S. Muromtsev [3], D. J. Cant [4], J. J. Chow et al. [5], N. A. Siddiqui et al. [6]) defined various spontaneous potential (SP) and gamma-ray (GR) log curve shapes used to interpret the depositional environments as important tool of facies interpretation in the subsurface. The facies alteration and geometry reflect sequence stratigraphic composition of strata.

Sequence stratigraphy deals with the correlation of coeval strata and facies units that typically vary through a basin and are bounded by surfaces of low diachroneity. We should note that facies studies leading to paleoenvironment analysis are far more crucial for sequence stratigraphy than for lithostratigraphy and understanding the vertical and lateral connection between facies in a time framework allows to connect the same timelines in multiple lithologies [7].

The object of our research is the lithofacies and sequence stratigraphy analysis of Pokurskaya Fm depending on the characteristics of SP logs data to carry out lithofacies and sequence stratigraphic interpretation of well logs in order to establish the environment of deposition, maximum flooding surfaces, and boundaries of sequences from the obtainable well logs.

The use of SP log data as lithological characteristics for purposes of lithostratigraphy, hydrodynamic levels, grain sizes, clastic sediments differences is the basis for creating facies geometry plot and a sequence stratigraphic frame [8, 9].

## 1. Regional Settings

Within Western Siberia, the Pokurskaya Fm is distributed over a large area in the northern, central and eastern parts (Fig. 1) in the Omsk-Urengoi structural facies zone (Tazovsko-Urengoi and Omsk-Laryaksky subareas) from the Kara Sea in the north to the city of Omsk in the south [10]; in some places, the formation is also distinguished in the southern regions of the West Siberian plate and on the eastern slope of the Middle Urals.

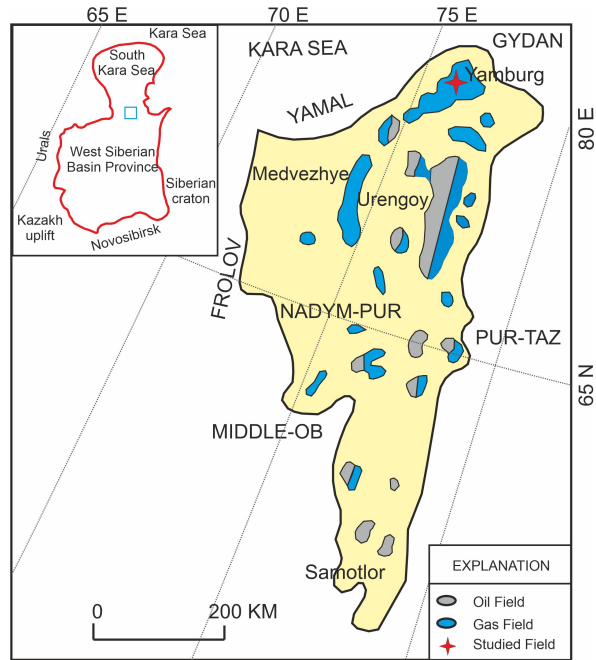


Fig. 1. Map of the petroleum regions with oil and gas fields of West Siberian Basin on the Nadym-Pur Oil- and Gas-Producing region where study area and its petroleum region boundary are located (Frolov, Middle Ob: in the central part of the West Siberian basin, Pur-Taz: in the northeastern part of the West Siberian basin, Yamal: in the northwestern part of West Siberia south of the Kara Sea, Gydan: in the northeastern onshore part of the West Siberian basin) (Modified from [11]) (color online)

The layers of the Pokurskaya Fm lie with a gradual transition to the Kiyalinskaya formation. In the southeast direction they are facily replaced by rocks, the lower Simonovka subformation and further, from the side of the Chulym-Yenisei depression, the Kia formation. In the Kulundinsko-Barabinsky area, south of the Pokurskaya, the Lenkovskaya formation is widespread. According to the research [9] the clastic rocks of the Mesozoic-Cenozoic sedimentary cover and the Paleozoic basement rocks represent the geological section of the studied field.

### 1.1. Paleogeography and Facies of Cretaceous (Cenomanian) in West Siberia

Regression was recorded on the Late Albian continued into the Cenomanian, led to shallowing of the sea [12]. The topographical relief on the platform margins was further dissected with tectonic rejuvenation. The Cenomanian climate was moderately warm and wet [13].

In the western Siberian basin, the following paleogeographic conditions have been recognized [1]: Shallow Sea, less than 25 m deep; Often flooding coastal plain by the sea; Lowland depositional plain; Erosional-depositional plain; elevated erosional plain; Low mountains.

During this regression the gradual shallowing in the basin limited the marine deposition area to



1,290,000 km<sup>2</sup>. The shallow sea areas with a depth of 25–100 m were again disappeared and a series of intermittent coastal plains along the paleo-Urals was created. The south and southeast boundary of the basin consists of a small strip (up to 50 km wide) of the erosion plain. A waterway in the Gulf of Ob in the center of the basin linked the shallow epicontinental sea with the open sea. The accumulation of the sand and silts on the Uvat and Marre-Sale Formations occupied a freshwater marine basin of less than 25 m, while sands dominated coastal environments [1]. Marine and continental lagoon facies represented sedimentary environments of a coastal plain that had regularly transgressed the sea and occupied an area of 1,130,000 km<sup>2</sup> during the Cenomanian age (Pokurskaya and Dolgan Fm) [1].

### 1.2. Stratigraphy of the Pokurskaya Fm

The stratigraphy and sedimentary history of the Pokurskaya Fm were studied by many scientists as A. M. Brekhunsov, A. A. Bulynnikov, I. Gutman, T. I. Gurov, V. I. Ermakov, Yu. N. Karagodin, A. E. Kontorovich, A. A. Nezhdanov, N. N. Nemchenko, I. I. Nesterov, M. V. Poroskun, F. Z. Khafizov, V. I. Shpilman and many others.

The Pokurskaya Fm relates to the Aptian, the Albian and the Cenomanian stages of the Lower and the Upper Cretaceous Series. The age of the formation is determined using spore-pollen complexes. The Cenomanian aged rocks are dominated by gymnosperm pollen [9].

The studied Cenomanian stage consists of interbedded sandstones, siltstones, and mudstones (clays). Sandstones: from light gray to gray, fine-medium-grained, micaceous, weakly cemented, clayey to varying degrees, rare carbonate interlayers; Siltstones: gray and light gray, unequal-grained, micaceous, clayey with interlayers of thin black clays, less often carbonate; Mudstones: gray and dark gray, silty, dense, with thin lenses of sandy-silty material; interlayers of carbonaceous clays with thin layers of brown coal (lignites) are noted. The Pokurskaya Fm is about 800 m thick while the studied part of the Pokurskaya Fm is 200 m. This part relates to the upper part of the Cenomanian stage (28% of the whole Cenomanian thickness).

## 2. Materials and Methods

The SP and resistivity log data from six profile wells were used for this study. For the data analysis, the following methods have been adopted.

### 2.1. Lithology Identification

Without any artificially applied current the SP log tests the spontaneous potential difference between the surface and the borehole. The spontaneous potential is produced by electro-chemical effects at the contacts between permeable beds and

shale/and across the transition zone between mud filtrate and formation water within the permeable beds. One of the uses for SP log is the indication of the shaliness of a formation as well as a grain size.

The  $\alpha$ SP well log signatures by (V. S. Muromtsev [3], V. V. Lapkovksy et al. [14]) were used to identify lithostratigraphic units and facies. The  $\alpha$ SP values are calculated using the normalizing SP values to the maximum between the sand line and the clay line [3]. By  $\alpha$ SP vs Md grain size plot sandstones with median grain size from 0.1 to 0.4 mm are concentrated in the upper right corner of the graph. In the interval  $\alpha$ SP = 0.6–0.8 there will be fine-grained sands, and in the interval,  $\alpha$ SP = 0.8–1.0 sands are coarse and medium-grained, non-clay. The scatter of points horizontally in the interval  $\alpha$ SP = 0.8–1.0 is explained by the absence of clay content in coarse-grained sands, as a result of which the SP curve practically ceases to respond to an increase in the grain size in them. The siltstones and mudstones are characterized by the interval  $\alpha$ SP = 0.4–0.6 and  $\alpha$ SP = 0.0–0.4 respectively (Fig. 2).

### 2.2. Well Log Facies Identification

The type of SP log signatures is a fundamental means of interpreting lithofacies and deposition environments. The work was focused on well logs for wells 2020, 3140, 3160, 6040, 6080 and 7222 were placed side by side and correlated to determine stratigraphic units that are equivalent in time, age or stratigraphic position.

The  $\alpha$ SP well log signatures facies classification for shallow marine environments (Fig. 3) was used in the study. As well as depositional sequence was determined by the cycle of sea level changed. And in vertical succession, depositional sequences were identified in the well logs.

The electrometric properties of sand bodies generated under marine conditions, in particular, will be fundamentally different from those of bodies formed under continental settings in most situations (Fig. 3). Where in each condition the  $\alpha$ SP curves differ by many specifications, the width ranges of the anomaly from units to tens generally, the position of the maximum value  $\alpha$ SP varies depending on the facies from the lower to the upper part with the maximum hydrodynamic activity of the sedimentation between 0.6–1 [15].

This sedimentary process can be interpreted by sandy sediments, which are formed by the dispersion of detrital particles from land along coasts and the introduction of waves from deeper sections of the seafloor. Since the activity waves extend over a large region of the shore, sand bodies grow along a substantial portion of the sea coast at the same time.

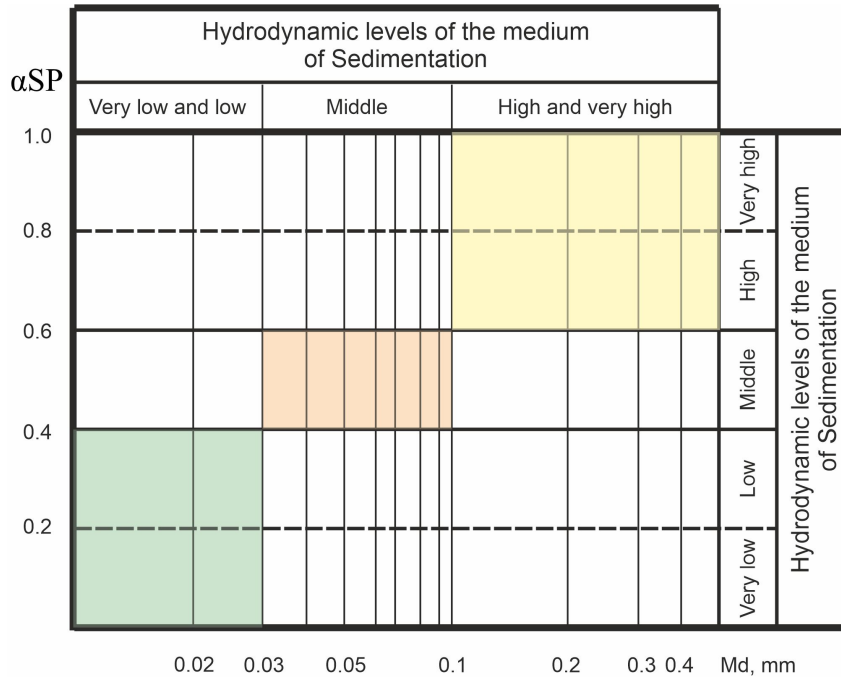


Fig. 2. Hydrodynamic conditions of clastic bodies – traps of HC (Modified from V. S. Muromtsev [3])

### 3. Results and Discussion

The SP log data from six profile’s wells were taken as lithic and facies characteristics.

#### 3.1. Identified Lithology

To determine the genesis of sediments from logging data, it is necessary to know how sedimentation conditions change over time for sediments of each facies. In this case, facies are considered from the standpoint of identifying the mechanism of formation of their constituent sediments, which is based on the sedimentological factor of changes in the paleohydrodynamics of the environment.

There are at least three hydrodynamic levels (modes) (Fig. 3): high, medium, low [3]. Each of these levels is characterized by a number of initial features reflecting the dynamic activity of the sedimentation environment. At least two large bedsets are revealed. Each of them begins with sandstones (high hydrodynamic level) of more or less thickness.

#### 3.2. Heterogeneities Estimate

The heterogeneities can be estimated as: K1 – the proportion of beds number with grain Md size > 0.03 mm (Fig. 2); and K2 – the proportion of beds thickness with grain Md size > 0.03 mm in the lower and upper bedsets (Fig. 4).

The comparison of bedsets by K1 and K2 values shows the increasing of (high + medium) hydrodynamic level’s material participation in the upper bedset, so we can propose Sediment Supply Factor’s influence growth during accumulation of this bedset (Fig. 4). The received model points to

wider spreading of sedimentary environments with higher hydrodynamic activity to the Cenomanian’s end within the studied area. When comparing the lower and upper bedset (Fig. 4), the number of layers and thickness are greater in the upper bedset. Therefore, the upper bedset is characterized by higher reservoir properties in comparison with the lower bedset.

#### 3.3. Identified SP Facies and Depositional Environments

Each facies have its own unique combinations of paleohydrodynamic sedimentation modes. The change in paleohydrodynamic levels in a sequence characteristic of a given facies is called the sedimentological model of the facies. These models make it possible to reconstruct the paleohydrodynamic environment and determine the genesis of sediments from the electric logging sections of the wells.

The sediment deposition of the shallow marine delineated for the wells were inferred from the study. As a result there are four main types of lithofacies: Foreshore (IV-7), Regressive Shoreface (V-9); Transgressive Shoreface (V-10); Discontinuous Currents (VI-(12–13) (Fig. 5) where recognized by facies classification (Fig. 3). According to V. S. Muromtsev [3] these facies have the following environmental features:

*The Foreshore lithofacies (IV-7):* are represented by estuarine bars. They are formed when river waters flow into the sea basin. Bars can be oval, isometric, fan-shaped, or crescent-shaped. The length of the sandy body can reach tens of kilometers. The energy levels of the water environ-



Environment of sedimentation	Index of the facies group	Group of facies	Index facies	Electrometric model	The name according to V. S. Muromtsev (1984)	Curve deviation sign $\alpha$ SP	The width of anomaly $\alpha$ SP (m)	Position of the maximum value $\alpha$ SP	Maximum dynamic activity of the sedimentation	Reducing the value $\alpha$ SP
Coastal - Marine	IV	Foreshore	7		Estuary Bars	-	Units and tens	In the middle part	0.8-0.6 (High)	↕
			8		Beach	-	Units	In the upper part	1.0-0.8 (Very high)	↓
	V	Shoreface	9		Shoreface (regressive)	-	Units and tens	In the upper part	1.0-0.8 (Very high)	↓
			10		Shoreface (transgressive)	-	Units and tens	In the lower part	1.0-0.8 (Very high)	↑
			11		Barrier island	-	Tens and the first hundred	In the upper and middle part	1.0-0.8 (Very high)	↓
	VI	Discontinuous currents	12		Gullies of discontinuous currents	-	Units and tens	Weakly expressed in the lower part	0.8-0.6 (High)	↕
			13		Head parts of discontinuous currents	-	Units and tens	In the middle part	0.8-0.6 (High)	↕

Fig. 3. The classification system of marine sedimentation conditions depending on  $\alpha$ SP log, showing the electrometric properties of sand bodies generated under coastal-marine conditions, including: Foreshore; Shoreface and Discontinuous currents facies. The electrometric model represents an anomaly of the PS curve, which has located in the zone of negative deviations. The greatest deviation of the  $\alpha$ PS reaches to 0.8–1.0. Black arrows indicate to the very high hydrodynamic activity (Modified from V. S. Muromtsev [3])

ment in which the sediments were created fluctuate from low at the start to high in the middle, and then back to low towards the conclusion of the bar's creation. The least quantity of clay particles is found in the middle of the bar and rises towards the bottom and top. The mouth bars are characterized by an abundance of charred plant detritus, plant scraps, and stem fragments. The deposits of these facies are 40–60% composed of well-sorted fine-grained cross-bedded sands. Depending on the river system,

the cross-sectional width varies within substantial bounds, ranging from units to tens of kilometers.

*The Regressive Shoreface lithofacies (V-9):* are formed under conditions of a regressing sea basin. The ridge of the bar moves after the retreating sea, and the zone of relatively coarse-grained sediments formed at high hydrodynamic levels moves towards the sea. The regressive bar's sedimentological model shows an increase in sedimentation activity.

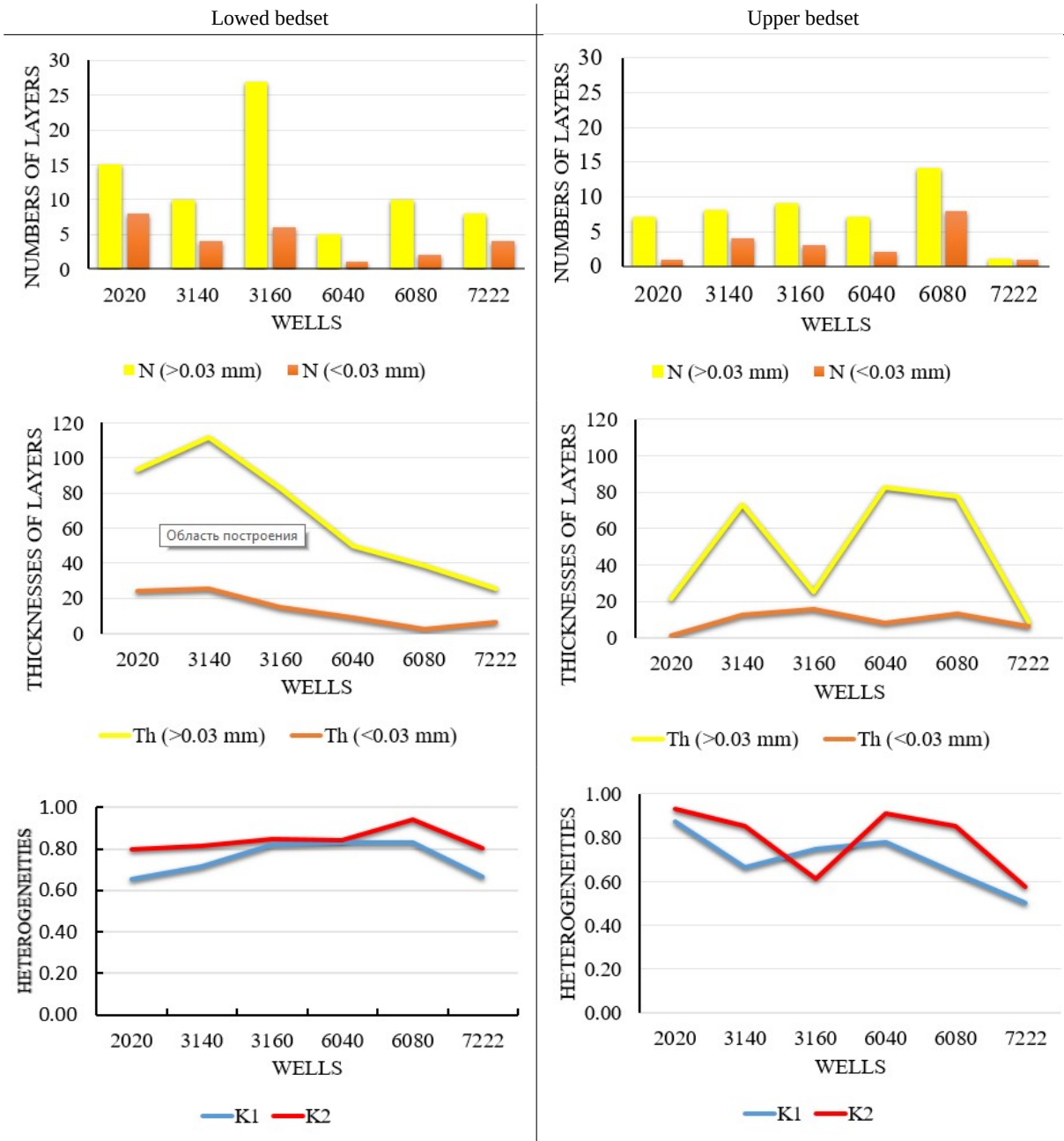


Fig. 4. Estimating heterogeneities for the upper and lower bedsets, Pokurskaya Fm. the lithostratigraphic heterogeneity of the sections was estimated by using the coefficients of the relative number and the thickness of layers with the size of clastic grains corresponding to low and medium-high paleohydrodynamic levels. The obtained estimate corresponds to the regional trend in the evolution of sedimentation. When comparing the top bedset to the lower bedset, the upper bedset has higher reservoir characteristics. Legend: K1 – the proportion of beds number with grain Md size > 0.03 mm (Fig. 2); and K2 – the proportion of beds thickness with grain Md size > 0.03 mm in the lower and upper bedsets; N: numbers of beds; Th: thickness of layers (color online)

*The Transgressive Shoreface lithofacies (V-10):* represent an elongated swell-like accumulation of debris separated from the coast by an alongshore ravine called a submerged shaft. A bar is a sand bank that protrudes from the ocean during low tide and is positioned some distance from the shore. Alluvium spits are formed, on the contrary, in the concave parts of the coast. The oblique is a narrow

alluvial swell that protrudes above the sea level and is attached to the beach at one end. The barriers are created by intergrown spit shafts. When the waves travel at an angle to the shore, they can fully divide the lagoon from the sea and produce islands or barrows in addition to the designated sand formations, spits and barrows. The model of the formation of transgressive bars is characterized by the high hy-



drodynamics, as a result, relatively coarse-grained sediments accumulated.

The Discontinuous Currents lithofacies (VI): relate to barnyard lagoons as a result of seawater surge through a bar during storms or filling them with fresh water flowing from land (VI-12). Excess water tears apart the sandy body of the along-shore bar and rushes into the open sea. The cross-sections of the sand bodies are lenticular-concave symmetric; their breadth might extend to hundreds of meters. These facies' sediments stretch for tens of kilometers, producing linearly elongated bands that occasionally branch. In the open sea, due to the spreading of jets and a drop in the current velocity, the carried out silty-sandy material accumulates in the form of an underwater alluvial fan (VI-13). These sediments can occupy various regions depending on the duration of these currents' operation, the amount of material carried by them, the topography of the bottom, and the climatic and hydrodynamic conditions that existed in this portion of the water area.

The electrometric facies model is a segment of the SP curve that reflects the lithophysical properties of rocks due to the characteristic sequence of changes in the paleohydrodynamic levels of the sedimentation medium in time (Fig. 4, 5).

These levels set the stacking pattern of parasequences. Parasequences are bounded by marine flooding surfaces [8]. Surfaces of flood reflect abrupt changes in the level of water during transgression, as well as facies are also changing abruptly, from shallow to deep, across the flood surface. The maximum flooding surfaces (MFS) observed from the stratigraphy analysis indicate majorly to high mudstone content as a lithic unit and higher values of  $\alpha$ SP respectively (e.g. [9]).

Parasequences compose four sequences: Sq1, Sq2, Sq3, Sq4 with different number of surfaces and stacking elements (Fig. 5). Average thicknesses of Sq1, Sq2, Sq3 and Sq4 are 34, 32, 30 and 61 m respectively. The Cenomanian duration is  $\sim 6.6$  Ma. Therefore, relatively section thickness ( $\sim 200$  m) and duration ( $\sim 2$  Ma) we can estimate cycles as 0.3–0.5 Ma (4rd order) that is properly sequence size [7]. Parasequences generally reflect short periods of progradation or retrogradation that are superimposed on or mark regressive or transgressive trends. The studied logged section is the example of the stacking of parasequences as a result in 3rd order progradation with a significant component of aggradation (Fig. 5) in accordance with a stratigraphic trend in the Cenomanian by [1], where the normal regressive (seaward) shoreline trajectory of successive parasequences is predictable [8].

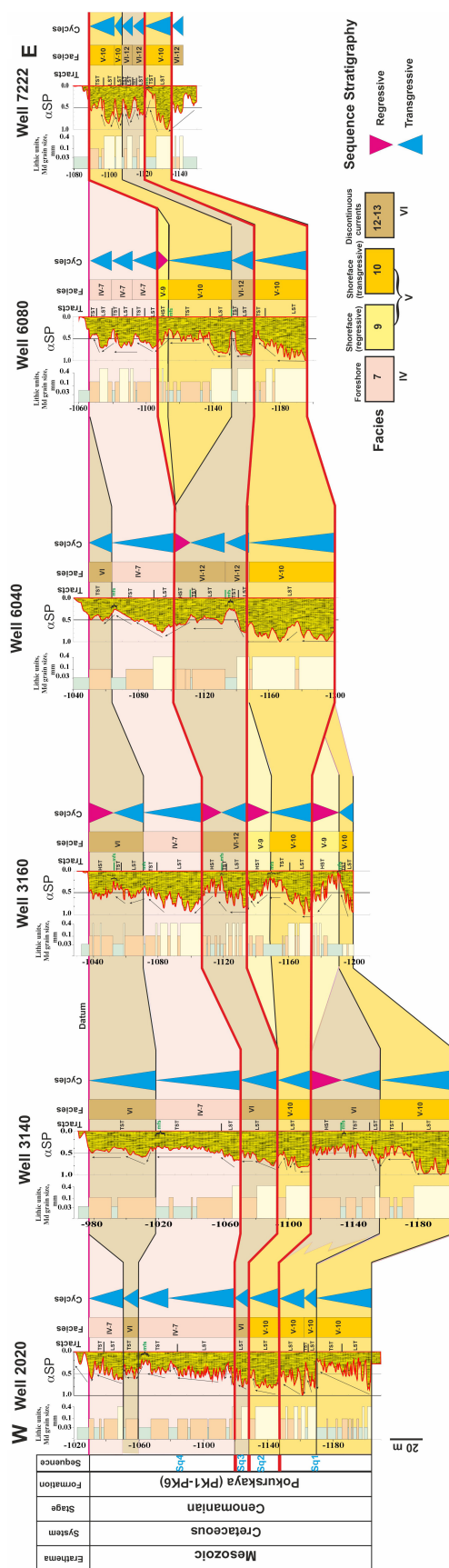


Fig. 5. Lithofacies and sequence elements of the Pokurskaya Fm across the field (Fig. 2)(LST-lowstand system tract, TST-transgressive system tract, HST- highstand system tract). Legends: Facies by the classification from Fig. 4: IV-7 – Foreshore; V-9 – Shoreface (regressive); V-10 – Shoreface (transgressive); VI-12 and VI-13 – Discontinuous currents. Thick red line refers to the sequence boundary (color online)



## Conclusion

The lithofacies and environment of deposition of the field have been described where SP (spontaneous polarization) log data from six wells were taken to reconstruct lithic characteristics, hydrodynamic levels, grain sizes, clastic sediments differences.

Two lithostratigraphic bedsets were distinguished and estimated by beds numbers and thicknesses heterogeneities. The Upper bedset consists of clastic sediments of higher hydrodynamic levels and reservoir properties.

Four major types of electrometric lithofacies (Foreshore, Regressive Shoreface, Transgressive Shoreface, and Discontinuous Currents) were recognized by examining the log curves. The  $\alpha$ SP changes and the stacking patterns of the logs were used to characterize and interpret the depositional environments.

Four sequences were identified in the cross-section; the results were based on well log shapes and lithofacies model. Electrometric lithofacies by  $\alpha$ SP values and log shapes subdivide strata into parasequences composing progradational-aggradational stratigraphic trend.

## References

1. Kontorovich A. E., Ershov S. V., Kazanenkov V. A., Karogodin Y. N., Kontorovich V. A., Lebedeva N. K., Nikitenko B. L., Popova N. I., Shurygin B. N. Cretaceous paleogeography of the West Siberian sedimentary basin. *Russian Geology and Geophysics*, 2014, vol. 55, no. 5–6, pp. 582–609. <https://doi.org/10.1016/j.rgg.2014.05.005>
2. Selley R. C. *Concepts and methods of subsurface analysis*. AAPG Continuing Education Course Notes Series. Tulsa, Oklahoma, American Association of Petroleum Geologists, 1979, vol. 9, 82 p. <https://doi.org/10.1306/CE9397>
3. Muromtzev V. S. *Electrometric geology of sand bodies-lithological traps of oil and gas*. Leningrad, Nedra Publ., 1984. 260 p. (in Russian).
4. Walker R. G., James N. P. *Facies models: Response to sea level change*. Stittsville, Ontario, Geological Association of Canada, Love Printing Service Ltd., 1992. 407 p.
5. Chow J. J., Ming-Ching Li., Fuh S. C. Geophysical well log study on the paleoenvironment of the hydrocarbon producing zones in the Erchungchi Formation, Hsinyin, SW Taiwan. *TAO : Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences*, 2005, vol. 16, no. 3, pp. 531–543. [https://doi.org/10.3319/TAO.2005.16.3.531\(T\)](https://doi.org/10.3319/TAO.2005.16.3.531(T))
6. Siddiqui N. A., EL-Ghali M. A., bin Abd Rahman A. H., Mijinyawa A., Ben-Awuah J. Depositional environment of shallow-marine sandstones from outcrop gamma-ray logs, Belait Formation, Meragang Beach, Brunei Darussalam. *Research Journal of Environmental and Earth Sciences*, 2013, vol. 5, no. 6, pp. 305–324. <https://doi.org/10.19026/rjees.5.5705>
7. Catuneanu O. Principles of Sequence Stratigraphy. *Geological Magazine*, 2007, vol. 144, iss. 6, pp. 1031–1032. <https://doi.org/10.1017/S0016756807003627>
8. Van Wagoner J. C., Mitchum R. M., Campion K. M., Rahmanian V. D. *Siliciclastic sequence stratigraphy in well logs, cores, and outcrops : Concepts for high-resolution correlation of time and facies*. AAPG Methods in Exploration Series. Tulsa, Oklahoma, American Association of Petroleum Geologists, 1990, vol. 7. 55 p. <https://doi.org/10.1306/Mth7510>
9. Zunde D. A. Methods for constructing a sequence-stratigraphic model of the Pokurskaya suite. *Oilfield Engineering*, 2015, no. 5, pp. 54–59 (in Russian).
10. Alexandrova G. N., Kosmynin V. A., Postnikov A. V. Stratigraphy and sedimentation conditions of Cretaceous deposits in the southern part of the Varyogan mega-shaft (Western Siberia). *Stratigraphy. Geological Correlation*, 2010, vol. 18, no. 4, pp. 65–91 (in Russian).
11. Ulmishek G. F. *Petroleum Geology and Resources of the West Siberian Basin, Russia*. Reston, Virginia, US Department of the Interior, US Geological Survey, 2003. 49 p. <https://doi.org/10.3133/b2201G>
12. Kontorovich A. E., Nesterov I. I., Salmanov F. K., Surkov V. S., Trofimuk A. A., Erv'ye Yu. G. *Petroleum Geology of West Siberia*. Moscow, Nedra Publ., 1975. 679 p. (in Russian).
13. Lapkovsky V. V., Istomin A. V., Kontorovich V. A., Berdov V. A. Correlation of well logs as a multidimensional optimization problem. *Russian Geology and Geophysics*, 2015, vol. 56, no. 3, pp. 487–492. <https://doi.org/10.1016/j.rgg.2015.02.009>
14. Yasamanov N. A. *Mesozoic and Cenozoic Climates and Landscapes of West and Central Siberia (Paleogeographic Factors of Bauxite Accumulation)*. Moscow, Nedra Publ., 1976. 142 p. (in Russian).
15. Potapova E. A. Implementation of a sequence-stratigraphic approach to clarify the correlation of clinoform formations of the BU group on the southeastern slope of the Srednemessoyakhsky swell. *Geology, Geophysics and Development of Oil and Gas Fields*, 2015, no. 7, pp. 22–29 (in Russian).

Поступила в редакцию 24.07.2022; одобрена после рецензирования 10.10.2022; принята к публикации 16.12.2022  
The article was submitted 24.07.2022; approved after reviewing 10.10.2022; accepted for publication 16.12.2022



Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Науки о Земле. 2023. Т. 23, вып. 1. С. 39–52  
*Izvestiya of Saratov University. Earth Sciences*, 2023, vol. 23, iss. 1, pp. 39–52  
<https://geo.sgu.ru>

<https://doi.org/10.18500/1819-7663-2023-23-1-39-52>, EDN: SIRVNL

Научная статья  
УДК 56.074.6(116:470)

## Биогенная составляющая фосфоритового горизонта среднего турона в разрезе Сеноманская стенка. Статья 2. Биостратиномический анализ



Е. М. Первушов

Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, Россия, 410012, г. Саратов, ул. Астраханская, д. 83

Первушов Евгений Михайлович, доктор геолого-минералогических наук, профессор, [pervushovem@mail.ru](mailto:pervushovem@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-7962-0274>

**Аннотация.** Дана биостратиномическая характеристика сеноманского и туронского комплексов фоссилий, установленных в составе фосфоритового горизонта среднего турона в разрезе Сеноманская стенка (Волгоградская область, Жирновский район), составлявших основу бентосных поселений и нектонных сообществ. Представлены возможные интерпретации обстановок, способствовавших формированию скопления фосфоритовых включений.

**Ключевые слова:** верхний мел, сеноман, турон, фосфориты, биостратиномический анализ, бентос, нектон, ихнофоссилии

**Для цитирования:** Первушов Е. М. Биогенная составляющая фосфоритового горизонта среднего турона в разрезе Сеноманская стенка. Статья 2. Биостратиномический анализ // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Науки о Земле. 2023. Т. 23, вып. 1. С. 39–52. <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2023-23-1-39-52>, EDN: SIRVNL

Статья опубликована на условиях лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY 4.0)

Article

**The biogenic component of the Middle Turonian phosphorite horizon from the Senomanskaya Stenka section. Paper 2. Biostratigraphical analysis**

E. M. Pervushov

Saratov State University, 83 Astrakhanskaya St., Saratov 410012, Russia

Evgeny M. Pervushov, [pervushovem@mail.ru](mailto:pervushovem@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-7962-0274>

**Abstract.** The paper presents biostratigraphical characteristics of the Cenomanian and the Turonian fossil complexes found in the Middle Turonian phosphorite horizon from the Senomanskaya Stenka section (Volgograd region, Zhirnovsk district) constituting the basis of the benthic colonies and nekton communities. Probable interpretations for the settings contributory to generation of the phosphorite inclusion clusters are provided.

**Keywords:** Upper Cretaceous, Cenomanian, Turonian, phosphorites, biostratigraphical analysis, benthos, nekton, ichnofossils

**For citation:** Pervushov E. M. The biogenic component of the Middle Turonian phosphorite horizon from the Senomanskaya Stenka section. Paper 2. Biostratigraphical analysis. *Izvestiya of Saratov University. Earth Sciences*, 2023, vol. 23, iss. 1, pp. 39–52 (in Russian). <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2023-23-1-39-52>, EDN: SIRVNL

This is an open access article distributed under the terms of Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC-BY 4.0)

Окончание (начало см.: 2022. Т. 22, вып. 4. С. 268–282.)

### Введение

В составе биогенной составляющей объемной пробы, выделенной из фосфоритового горизонта среднего турона в разрезе Сеноманская стенка [1], определены представители нескольких экологических группировок. Дана биостратиномическая характеристика ихнофоссилий и фоссилий сеноманского и туронского подкомплексов,

составлявших основу бентосных и нектонных сообществ.

**1. Фоссилии. Бентос. Сеноманский подкомплекс** (таблица). Среди фоссилий бентосных организмов выделены следующие типы сохранности. Группа А – раковина, при этом ее первичный карбонатный состав всегда замещен фосфатом. Группа Б – фосфатное ядро со следами, фрагментами внутренних слоев ранее облекавшей его раковины. Группа В – фосфатное ядро без следов раковинного слоя. Группа Г – отпе-





Параметрическая характеристика  
(фосфоритовый горизонт среднего

Экологические группы	Таксономические группы	ГРУППА А РАКОВИНА (СТВОРКА)				ГРУППА Б ЯДРО С ЭЛЕМЕНТАМИ	
		сомкнутые		отдельные створки		сомкнутые формы (-)	
БЕНТОСНЫЕ ФОРМЫ, ЭПИФАУНА	ЦЕМЕНТНОПРИКРЕПЛЕННЫЕ	Двустворчатые моллюски: – пять видов; – 12 экз.				СТЕПЕНЬ	
						целые (-)	фрагменты (-)
		–	–	–	–	–	–
		–	–	–	–	–	–
		–	–	–	–	–	–
	ПОЛЗАЮЩИЕ	Двустворчатые моллюски: – восемь видов; – 18 экз.				29%	
						100%	
		Гастроподы: – четыре вида; 13 экз. <b>Всего: 31 экз.</b>				СТЕПЕНЬ	
						85%	15%
		–	–	–	–	70% хорошая, 30% слабая	100% слабая
		–	–	–	–	–	–
	–	–	–	–	45%	–	
	БИССУСНОПРИКРЕПЛЕННЫЕ	Двустворчатые моллюски: – пять видов; – 13 экз.				8%	
						100%	
		Брахиоподы: – один вид; – 1 экз. <b>Всего: 14 экз.</b>				14%	
СТЕПЕНЬ							
–		–	100%	–	–	–	
–		–	–	–	–	–	
–	–	100%	–	–	–		
БЕНТОСНЫЕ ФОРМЫ ИНФАУНА	Лопатоногие моллюски: – два вида; – 11 экз. (48%)				13 экз. (56%)		
					1 экз.		
	сомкнутые створки (77%)		отдельные створки (23%)		сомкнутые формы (100%)		
	СТЕПЕНЬ						
	целые (10%)	фрагменты (90%)	целые (33%)	фрагменты (67%)	целые (нет)	фрагменты (100%)	
	100%	100%	100%	100% слабая	–	100% слабая	
	нет	нет	нет	нет	нет	нет	
	нет	нет	+	+	нет	нет	
	СВОБОДНОЛЕЖАЩИЕ	Двустворчатые моллюски: – пять видов; <b>Всего: 24 экз.</b>				нет	
						5 экз. (21%)	
		Двустворчатые моллюски: – пять видов; <b>Всего: 24 экз.</b>				100%	
						СТЕПЕНЬ	
–		–	–	–	–	100%	
–		–	–	–	–	в разной степени	
–	–	–	–	–	–		
–	–	–	–	–	–		

Примечание. + – присутствие раковинного декрита.



фоссилий сеноманского подкомплекса  
турона, разрез Сеноманская стенка)

<b>ТИП СОХРАННОСТИ</b>						<b>ГРУППА Г</b> отпечаток (оттиск)	
<b>ЯДРО (ВНУТРЕННИЙ СЛЕПОК)</b>							
<b>РАКОВИННОГО СЛОЯ</b>		<b>ГРУППА В</b> <b>ЯДРО БЕЗ РАКОВИННОГО СЛОЯ</b>				Нет	8% фрагментов
отдельные элементы (100%)		сомкнутые (25%)		отдельные элементы (75%)			
<b>СОХРАННОСТИ</b>						Нет	8% фрагментов
целые (-)	фрагменты (100%)	целые (-)	фрагменты (100%)	целые (15%)	фрагменты (85%)		
-	100% хорошая	-	100% слабая	100% слабая	100% слабая	Окатанность	
-	-	-	-	-	-	Биоэрозия	
-	-	-	-	-	-	В составе агрегатов	
71%						Нет	
-		88%		12%			
<b>СОХРАННОСТИ</b>						Нет	
-	-	32%	68%	30%	70%		
-	-	100%	100%	100%	100%	Окатанность	
-	-	57%	13%	-	-	Биоэрозия	
-	-	30%	13%	-	100%	В составе агрегатов	
57%						Отпечаток 21%, все в агрегатах	
100%		64%		36%			
<b>СОХРАННОСТИ</b>						Отпечаток 21%, все в агрегатах	
-	100%	20%	80%	30%	70%		
-	100%	100% слабая	100% слабая	-	70%	Окатанность	
-	-	-	-	30%	-	Биоэрозия	
-	100%	100%	75%	-	-	В составе агрегатов	
(4%)		9 экз. (40%)				Нет	
отдельные элементы (-)		сомкнутые формы (100%)		отдельные элементы (-)			
<b>СОХРАННОСТИ</b>						Нет	
целые (нет)	фрагменты (нет)	целые (нет)	фрагменты (100%)	целые (нет)	фрагменты (нет)		
-	-	-	в разной степени	-	-	Окатанность	
нет	нет	нет	нет	нет	нет	Биоэрозия	
нет	нет	нет	3	нет	нет	В составе агрегатов	
19 экз. (79%)						Нет	
нет		31%		69%			
<b>СОХРАННОСТИ</b>						Нет	
-	-	-	-	15%	85%		
-	-	100% хорошая	в разной степени	100% слабая	в разной степени	Окатанность	
-	-	1	1	-	3	Биоэрозия	
-	-	2	1	2	2	В составе агрегатов	



чатки, слепки внешней поверхности раковины, ее скульптуры на фосфатных включениях и агрегатах. Общее количество фоссилий 96 экз. и 112 экземпляров неопределимых мелких фрагментов.

Плохая, частичная сохранность слоев раковины на поверхности ядер эпи- и инфаунных форм, за исключением лингул, свидетельствует о значительном механическом воздействии на фоссилии после размыва включавшего их осадка. Большой процент сохранности раковин среди представителей инфауны (см. таблицу), по сравнению с эпифаунными формами, обусловлен наличием фосфатнораковинных брахиопод *Lingula* sp. Подобная сохранность лингул может быть следствием плотного расположения тонких фосфатных створок при их автохтонном, иммиграционном захоронении, их посмертной цементацией фосфатным веществом вместе с вмещающим осадком, и обусловлена субплоской аэродинамической формой раковины, которая «парила» над поверхностью дна при ее вымывании из осадка.

Среди отпечатков раковин установлены исключительно представители эпифауны, только цементно- и биссусноприкрепленные формы. Эти беспозвоночные наиболее длительное время находились над поверхностью осадка, в моменты консолидации фосфатно-иловых соединений на его поверхности и близ водорослевых покровов. Отпечатки внешней поверхности раковин организмов могут свидетельствовать о том, что еще до попадания в осадок и погребения раковины моллюсков обволакивались фосфатным веществом или попадали на поверхность осадка, пропитанную фосфатом. Подобных фосфатных образований, пленок и наслоений нет вокруг раковин инфауны, хотя их фоссилии фосфатизированы. Фосфатные соединения пропитывали не только поверхность осадка, они селективно проникали в него по полостям нор и ходов беспозвоночных.

Импрегнирование фосфатным веществом еще не погребенных в осадок раковины эпифауны подтверждается тем, что эти формы чаще, чем представители инфауны, находятся в составе агрегатов фосфоритовых включений. При этом под покровом фосфатной массы сохраняется раковина.

*Степень расчлененности элементов скелета.* В рассматриваемом ориктокомплексе анализ степени разобщенности или сомкнутости створок актуален при рассмотрении двустворчатых моллюсков и брахиопод. Количество фоссилий, раковин и ядер, с сомкнутыми створками максимально среди представителей инфауны (87% из 96 экз.). Среди представителей эпифауны (13%) наибольшее количество фоссилий с сомкнутыми створками установлено среди биссусноприкрепленных (67%) и свободнолежащих (46%) форм. Среди цементноприкрепленных (16%) и ползаю-

щих (20%) форм фоссилии с сомкнутыми створками редки.

Преобладание среди представителей инфауны форм с сочлененными створками позволяет предположить, что эти беспозвоночные подвергались фоссилизации, еще находясь в осадке, в прижизненном положении или в автохтонном захоронении. В последующем эти остатки или фоссилии вымывались из осадка в виде твердых включений. Некоторый процент разрозненных створок инфауны обусловлен тем, что из осадка вымывались не только фосфатные фоссилии, но и погибшие или живые организмы, створки которых разделялись при перемещении по поверхности осадка.

Заключение о том, что основная масса инфауны, судя по сохранности фоссилий, вымывалась из осадка, предполагает отсутствие заморозов в морском бассейне в этот момент времени. При заморах представители инфауны выползают на поверхность осадка и часто погибают. В этом случае раковины беспозвоночных подвержены естественному раскрытию и расчленению. Следствием подобных явлений было бы большое количество отдельных створок инфаунных форм в ориктоценозе.

Среди представителей эпифауны примечателен очень низкий процент форм с нерасчлененными створками среди цементноприкрепленных моллюсков, при сравнении с представителями других экологических групп. Вероятно, это явление согласуется с обитанием этих беспозвоночных в условиях повышенной придонной гидродинамики и относительно высоким их положением над поверхностью субстрата, по сравнению с ползающими моллюсками, частично погруженными в осадок. Подобное расхождение организмов на поверхности осадка приводило к селективному распадению раковин на отдельные створки. При этом цементноприкрепленные формы представлены преимущественно нижними створками, которые приспособлены у многих устриц к устойчивому положению по отношению к направлению течения. При фоссилизации полости этих створок часто выполняли аккумуляющую роль по отношению к осаждающимся фосфатным соединениям. Иногда фосфатное вещество переполняло объем внутренней полости створки и образовывало неровную выпуклую поверхность. Легкие, субплоские и оттого «гидродинамичные» верхние створки при разложении мягких тканей организма разносились течением по латерали и порой концентрировались за пределами исходного биотопа.

Среди представителей свободнолежащих и биссусноприкрепленных двустворчатых моллюсков, обитавших в более спокойных гидродинамических условиях, створки чаще оставались неразобщенными. Поскольку степень сохранности фоссилий до некоторой степени соответствует



условиям обитания предполагаемых экологических групп, можно предположить, что фосфатизация и первичное захоронение рассмотренных органоизмов происходили в пределах их биотопов.

**Геохимические преобразования и механическое разрушение фоссилий.** Рассматривается следующий ряд деформаций фоссилий и их элементов: 1 – замещенная фосфатом раковина или створка полной сохранности с сохранившейся скульптурой; 2 – фосфатное ядро со следами раковинного слоя; 3 – фосфатное ядро: целое – фрагментированное – окатанное.

Прослеживание следов раковины на ядрах позволяет наметить длительность и последовательность разрушения фоссилии. Раковина утрачивалась при постепенном, чередующемся ее скалывании и истирании об окружающие фосфоритовые включения, желваки и ядра, слагавшие основу фосфоритового пляжа. Для 80 % фосфатных ядер характерна фрагментация, при этом края сколов не несут следов окатывания, что воспринимается как последствия ударов фоссилий о твердые объекты в моменты высокой турбулентной динамики водной среды. Разная степень проявлений фрагментации фоссилий, принадлежащих разным таксономическим группам, определяется габитусом раковины, до некоторой степени определявшим ее механическую устойчивость. Значительной окатанности естественных острых краев ядер также не выявлено. Иными словами, до окончательного погребения в осадок эти фоссилии не достигали степени окатанных галек. Сочетание следов высокой гидродинамики, в условиях которой формировалось скопление фосфоритовых включений разного генезиса, с отсутствием явной окатанности фосфатных ядер, свидетельствует об относительно кратковременном процессе образования фосфоритового горизонта или о многократности аналогичных процессов. Можно предположить, что при реализации этих процессов отсутствовала значительная пространственная транспортировка биогенных компонентов рассматриваемого фосфоритового горизонта.

**Биоэрозия.** Проявления биоэрозии, сверления и норы неизвестны среди представителей инфауны, следы ползания в виде светлых прожилков отмечены среди эпифаунных форм (96 экз.): среди цементноприкрепленных (33%) и ползающих (35%) моллюсков. Среди свободнолежащих форм лишь 25 % с проявлениями биоэрозии, а наименее пострадали от подобных повреждений фоссилии биссусноприкрепленных организмов.

Отсутствие ярких проявлений биоэрозии обусловлено недолгой экспозицией фоссилий на поверхности осадка, которые постоянно перемещались на границе субстрата и воды до первичного захоронения при достаточно быстром осадконакоплении. В момент сепарации псаммитового осадка и формирования фосфоритового пляжа постоянное подвижное состояние терригенных

компонентов разных размеров и очертаний не способствовало поселениям литофаг. На фоссилиях инфаунных форм следы биоэрозии отсутствуют из-за их экспозиции на поверхности субстрата лишь после размыва вмещающих осадков, в условиях интенсивной гидродинамики. Для лингул подобное явление также может быть объяснено габитусом и небольшими размерами раковин. Вероятно, последняя причина определила редкое проявление биоэрозии и на фоссилиях биссусноприкрепленных форм.

При регистрации проявлений биоэрозии в качестве контрастного сравнительного материала рассматривается «губковый» горизонт нижнего сантона. Это образование также распространено в северной части Доно-Медведицкого вала (разрезы Меловатка, Алешники, Мирошники, Каменный Брод) [2, 3]. В составе этого горизонта скелеты губок испещрены до неузнаваемости многочисленными ходами и норами литофаг.

**Бентос. Туронский подкомплекс.** Туронские формы представлены фрагментом створки *Inoceramus* cf. *lamarki* (Park.) угловатых очертаний, арагонитовый состав которой не подвергся замещению. Элементы раковин нектонных форм, белемнитов и эпибентосных двустворчатых моллюсков, иноцерамов, рассматриваются как компоненты, не соответствующие условиям формирования фосфоритового пляжа в зоне верхней сублиторали и супралиторали. Створки крупных раковин иноцерамусов обычно распадаются на устойчивые сегменты (макушка, замок и сегменты створок), вне зависимости от их толщины и распространяются по поверхности осадка. Это отчасти обусловлено отмиранием органической матрицы и великолепной спайностью кристаллов арагонита, образующих створки. Крупные размеры фрагмента створки иноцерамуса (28×27 мм) (рис. 1, А) дают возможность предполагать, что перенос этой фоссилии от места гибели организма до окончательного попадания в осадок был незначительным. Отсутствие окатанности этого фрагмента, следов биоэрозии и обрастания на нем свидетельствуют о быстром его захоронении.

**Нектон. Сеноманский подкомплекс. Механическое разрушение.** Рыбы представлены прочными, устойчивыми к истиранию элементами скелета: эласмобранхии – зубами, химеры – зубными пластинами, телеостеи известны по 14 зубам (11%), фрагментам челюстей (2%) и 95 позвонкам (87%). Отсутствие известных в других местонахождениях из синхронных образований плакоидных чешуй связывается с возможным их выносом из формирующегося захоронения как наиболее легких компонентов или утерей этих элементов при первых промывках материалов объемной пробы.

Сохранность остеологического материала может указывать на существенную переработку фоссилий рыб в условиях активной гидродинамики. Воздействие динамичного, турбулентного

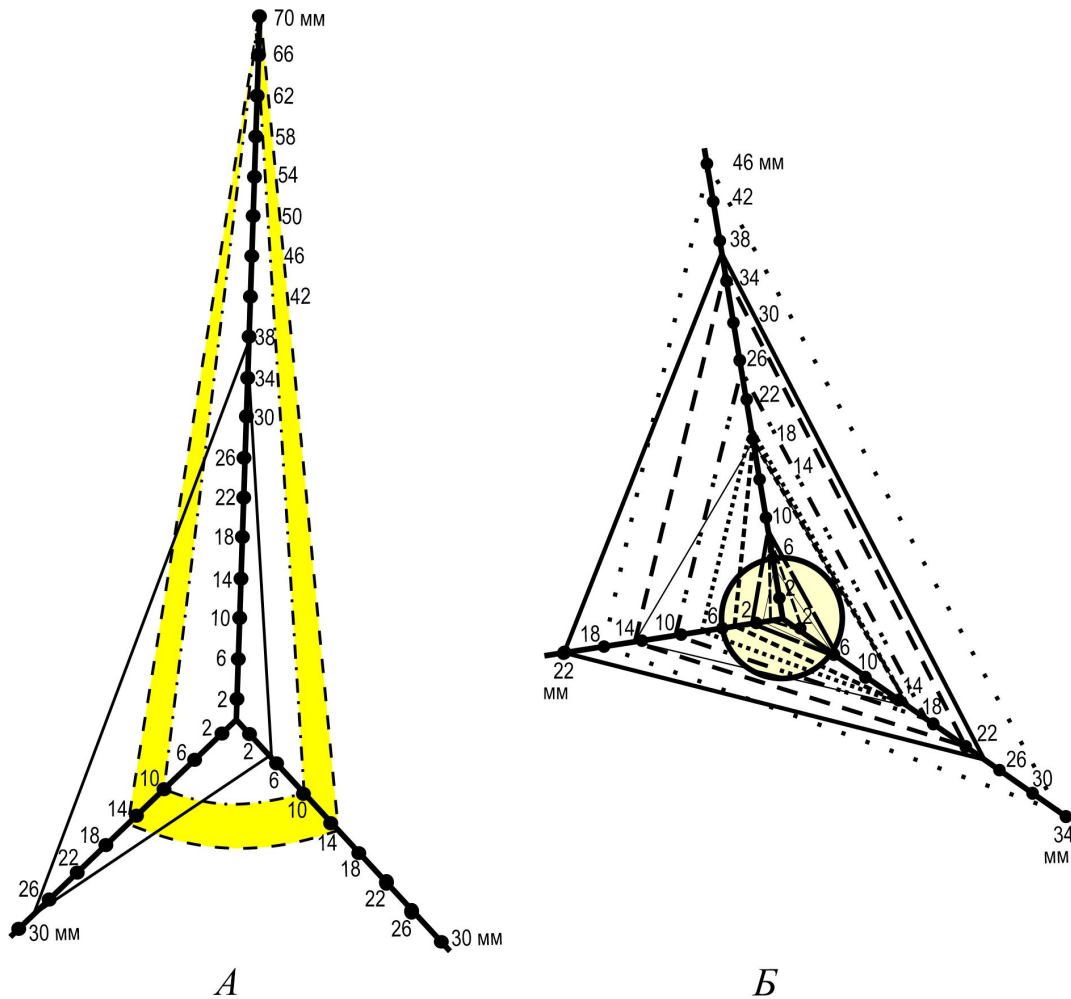


Рис. 1. Размерность фоссилий, которые выделены из фосфоритового горизонта среднего турона (разрез Сеноманская стенка), рассчитанная по трем осям: А – подкомплекс среднего турона, Б – подкомплекс среднего – верхнего сеномана. Условные обозначения: сплошные и штрих-пунктирные линии визуализируют размерность фоссилий разной таксономической принадлежности; окружность в центре графика Б отражает размер и очертания среднестатистического биогенного фосфатного включения

водного потока подтверждается фрагментарностью многих тел позвонков, зубов костистых рыб и эласмобранхий. Механические повреждения зубов эласмобранхий выражены в виде трещин и разломов по их продольной оси, в отсутствии апикальных краев коронки. Относительно полно сохранились некоторые крупные и прочные зубы пелагических форм (5%) и представителей рода *Paleoanapsoxa* (10%). Зубные пластины химер известны по фрагментам.

Многие фоссилии в существенной степени окатаны, за исключением единичных зубов пелагических акул полной сохранности. При этом большей завальцованностью кончиков и режущих краев коронки отличаются именно крупные зубы. Среди зубных пластин химер в наибольшей степени окатаны мелкие фрагменты, чем крупные.

**Особенности фоссилизации.** Тела позвонков и зубы рыб в значительной степени фосфатизированы. Позвонки костистых рыб и зубы эласмо-

бранхий, представителей прибрежных, донных и пелагических группировок, обнаружены в составе фосфоритовых агрегатов, что может рассматриваться как пребывание этих животных в мелководных участках морского бассейна, особенно в период преобладания сгонных ветров.

Выделено два типа сохранности зубов эласмобранхий: в строении одних сохранилось вещество и габитус корней, а у других корни полностью отсутствуют. В последнем случае от зуба остается полупустая коронка с очень неровным острым краем проксимального конца. Наибольшее количество «бескорневых» форм отмечено среди мелкоразмерных зубов. Из 166 экземпляров мелких зубов прибрежных эласмобранхий 5/6 фоссилий лишены корня. У трети более крупных зубов, придонных *Acrodus* (1 экз.) и пелагических форм (28 экз.), корень отсутствует. В данном случае немногочисленность мелких зубов объясняется более частым их уни-



чтожением при переотложении и сложностью выделения мелких форм из материала пробы в первые годы проводимых полевых работ. Установленные особенности сохранности не связаны с экологическими специализациями рыб. Два типа сохранности зубов обусловлены их попаданием в состав окончательного ориктоценоза из двух разных обстановок первичного захоронения. Формы с корнями исходно попали в осадок в условиях спокойной седиментации, постепенно их засыпанию псаммитовым материалом. Зубы с растворенным веществом зубов, очевидно, происходят из обстановок стагнации, при усилении растворения фосфатов или при продолжительной экспозиции зубов на поверхности субстрата, что способствовало их конденсации [4]. Опыт изучения верхнемеловых терригенных пород показывает, что условия формирования уровней конденсации зубов эласмобранхий проявлялись эпизодически в тех или иных участках морского бассейна, а известные равномерно рассеянные их захоронения единичны.

Два типа сохранности установлены при изучении зубных пластин химер. Три небольших по размерам экземпляра сильно фосфатизированы и в большей степени окатаны, чем крупные (2 экз.) и менее фосфатизированные пластины. Подобные различия в сохранности фоссилий свидетельствуют о том, что они претерпели разную историю до окончательного захоронения. Эти фоссилии могли быть вымыты из разных, судя по степени их сохранности, первичных захоронений. Слабая фосфатизация крупных и менее окатанных фрагментов позволяет предположить, что они переотложены из относительно поздних автохтонных захоронений позднесеноманского – раннетуронского времени. Фоссилии рыб изначально были условно отнесены к сеноманскому подкомплексу на основании их значительной фосфатизации. Впоследствии установлено, что *Eostriatolamia subulata* (Ag.) характеризует средний сеноман, а представители рода *Squalicoxax* – верхний сеноман [5]. В рассматриваемом ориктокомплексе не встречены зубы *Ptychodus*, характеризующих верхнесеноманские – туронские отложения, ранее установленные в верхнем сеномане разреза Меловатка-9. Это может быть обусловлено меньшей их встречаемостью в отложениях сеномана, по сравнению с другими представителями эласмобранхий, и, благодаря большему удельному весу, строению и габитусу, они были вынесены за пределы биотопа при формировании скопления фосфоритов. При последующих работах на разрезе Сеноманская стенка, в перекрывающих мергелях среднего турона был найден мелкий зуб *Ptychodus mammilaris* (Ag.).

**Механическая сортировка.** Градационная дифференциация фоссилий отражает завершающие условия образования прослоя фосфоритовых включений (рис. 1, Б, рис. 2). По максимальной

оси измерены 487 фоссилий. Из них 288 экз. (40,7 %) отнесены к псефитовой (менее 10 мм) и 199 экз. (59,3 %) – к псаммитовой фракциям. 171 экземпляр (86%) – мелкогалечной (10–25 мм), 25 экз. (13%) – среднегалечной (25–50 мм) размерности и три экземпляра (1%) – это крупная галька (50–100 мм). Таким образом, в составе фосфоритового горизонта преобладают фоссилии песчаной фракции, среди материала галечной размерности доминируют формы мелкогалечной размерности. При рассмотрении графиков распределения размерности фоссилий сеноманского подкомплекса (см. рис. 2) можно заключить, что исследуемый фосфоритовый горизонт – достаточно зрелое терригенное образование, с высокой степенью дифференциации включений. С учетом больших размеров исходно захороненных двусторчатых моллюсков, очевидно, что фоссилии разного генезиса и разным путем попавшие в интегрированный ориктокомплекс в условиях верхней сублиторали и супралиторали постепенно приобретали сходные очертания и размеры. Подтверждением этого могут служить размеры и очертания среднестатистического биогенного фосфатного включения в форме шара диаметром 6 мм (см. рис. 1, Б).

**Нектонные формы. Туронский подкомплекс.** Представлен рострами белемнитов *Actinosamax intermedius* (Park.) – один полный ростр и семь фрагментов размером 30–75×10–28 мм, арагонитовый состав ростров не замещен (см. рис. 1, А). Слабая степень окатанности фрагментов ростров и отсутствие на них проявлений – биоэрозии свидетельствуют о кратковременном пребывании фоссилий в динамически активной водной среде, что привело к расколам ростров и их быстрому попаданию в осадок. Положение одного фрагмента ростра в агрегате фосфоритов свидетельствует о вязкости еще нелитифицированного фосфатного вещества.

Можно предположить, что ростры относительно крупноразмерных белемнитов, существовавших во время формирования фосфоритового пляжа, попали в консолидированный осадок последними и являются элементом аллохтонного синхронного захоронения. Это подтверждается строением нижних интервалов банновской свиты вблизи расположенных разрезов Красный Яр-1 и Меловатка -3, -6, где синхронный комплекс фоссилий составляют многочисленные устрицы и кремниевые губки.

От событий раннего турона и ранней части среднего турона [2], когда происходили размыв и вынос с присводовой части Жирновского поднятия терригенных пород среднего и верхнего сеномана и разнос туронских карбонатно-пелитовых осадков, в разрезе Сеноманская стенка сохранилась лишь «тяжелая» фракция нектонных форм, белемнитов. Завершающие фазы формирования фосфоритового горизонта определялись перемещением и уплотнением составляющего его

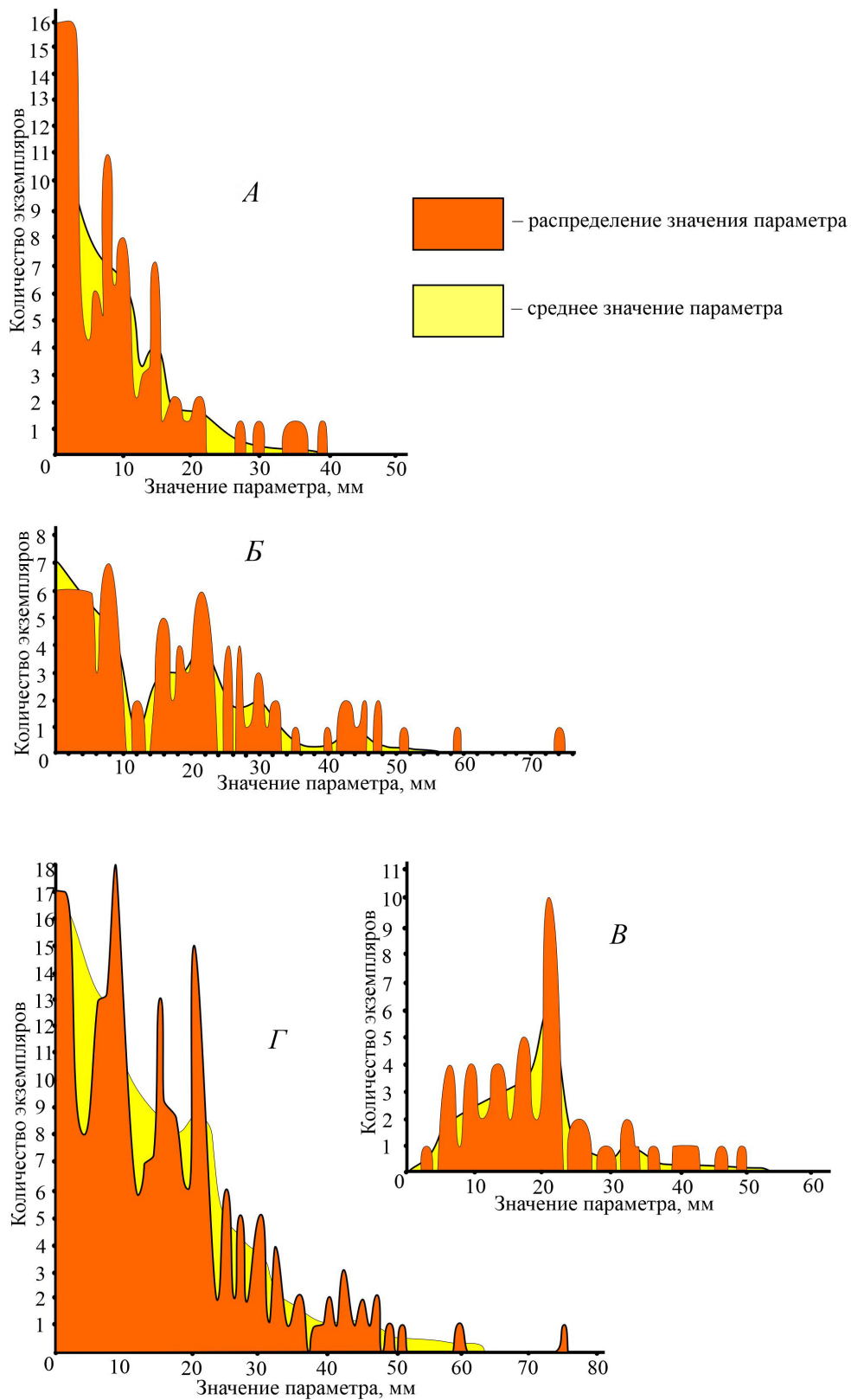


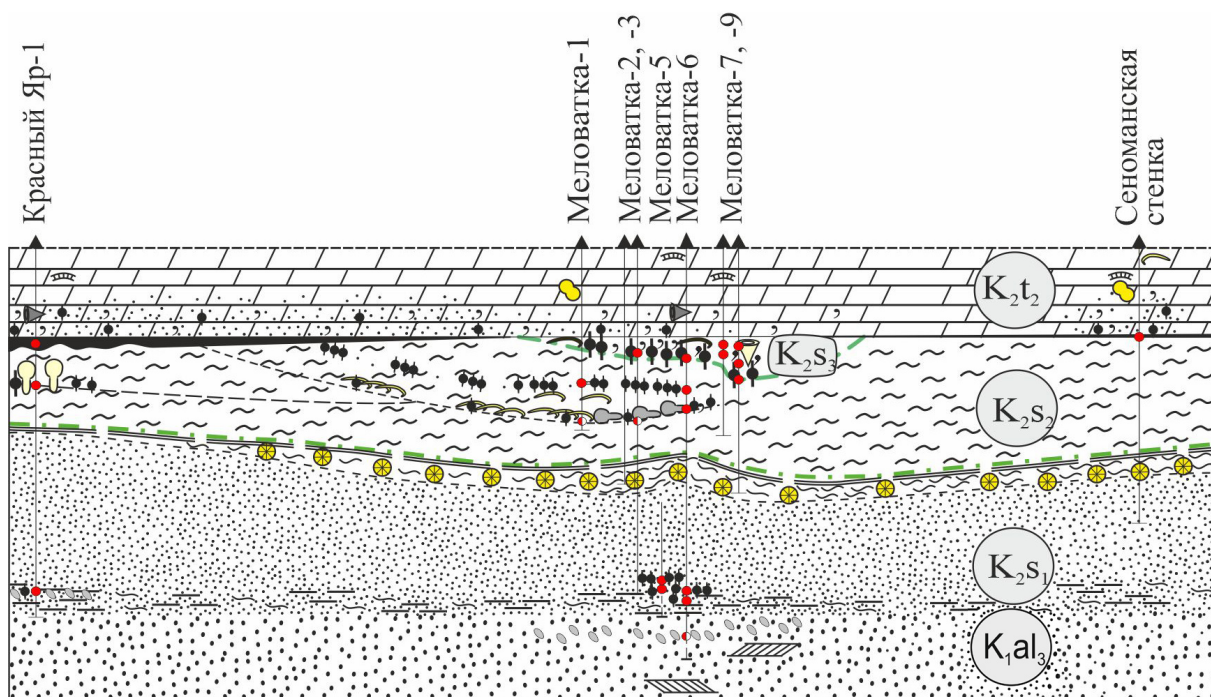
Рис. 2. Распределение значений параметров фосфоритовых беспозвоночных сеноманского подкомплекса (фосфоритовый горизонт среднего турона, разрез Сеноманская стенка): *А* – по минимальной оси, *Б* – по максимальной оси, *В* – по средней оси, *Г* – интегрированное значение по трем осям



терригенного материала. Это наблюдение основывается на анализе структуры этого образования и отсутствия форм, обитавших в условиях подвижных осадков. По-видимому, фрагмент створки иноцерама был привнесен из сопряженного биотопа.

Материалы изучения фосфоритового горизонта в обнажении Сеноманская стенка дополнены результатами исследований сеноманских и туронских отложений в серии рядом расположенных разрезов в районе села Меловатка и рабочего поселка Красный Яр. При рассмотрении схематического палеогеологического разреза

(рис. 3, 4) можно заключить, что формирование фосфоритового горизонта в основании пород турона обусловлено глубиной эрозионного среза подстилающих, содержащих фосфоритовые включения, отложений среднего и верхнего сеномана. Зоны значительного размыва сеноманских отложений и формирования мощных фосфоритовых горизонтов, приурочены к присводовым частям локальных структур в составе крупных региональных поднятий, что ранее отмечалось на примере Воронежской антеклизы [6]. Прслежены проявления размыва и неоднократного переотложения, аккумуляирования разрозненных



Условные обозначения

– песок	– фосфоритовые желваки	– демоспонгии: а – автохтонные, б – аллохтонные
– песок крупнозернистый	– окатыши по подстилающим породам	– створки устриц
– мергель	– фосфоритовый горизонт в основании банновской свиты	– бентосные фораминиферы
– мергель песчаный	– гидроокислы железа	– интервалы отбора объемных проб
– пелитовый материал	– диагональная параллельная слоистость	– выборка фоссилий по слою
– алевроитовый материал	– призматический слой иноцерамид	– поверхности литологических интервалов
– глауконит	– гексактинеллиды: а – автохтонные, б – аллохтонные	– местоположение разрезов

Рис. 3. Схематичный палеогеологический разрез на начало среднетуронского осадконакопления по линии разрезов Красный Яр-1 – Меловатка – Сеноманская стенка и положение мест отбора объемных проб (цвет онлайн)



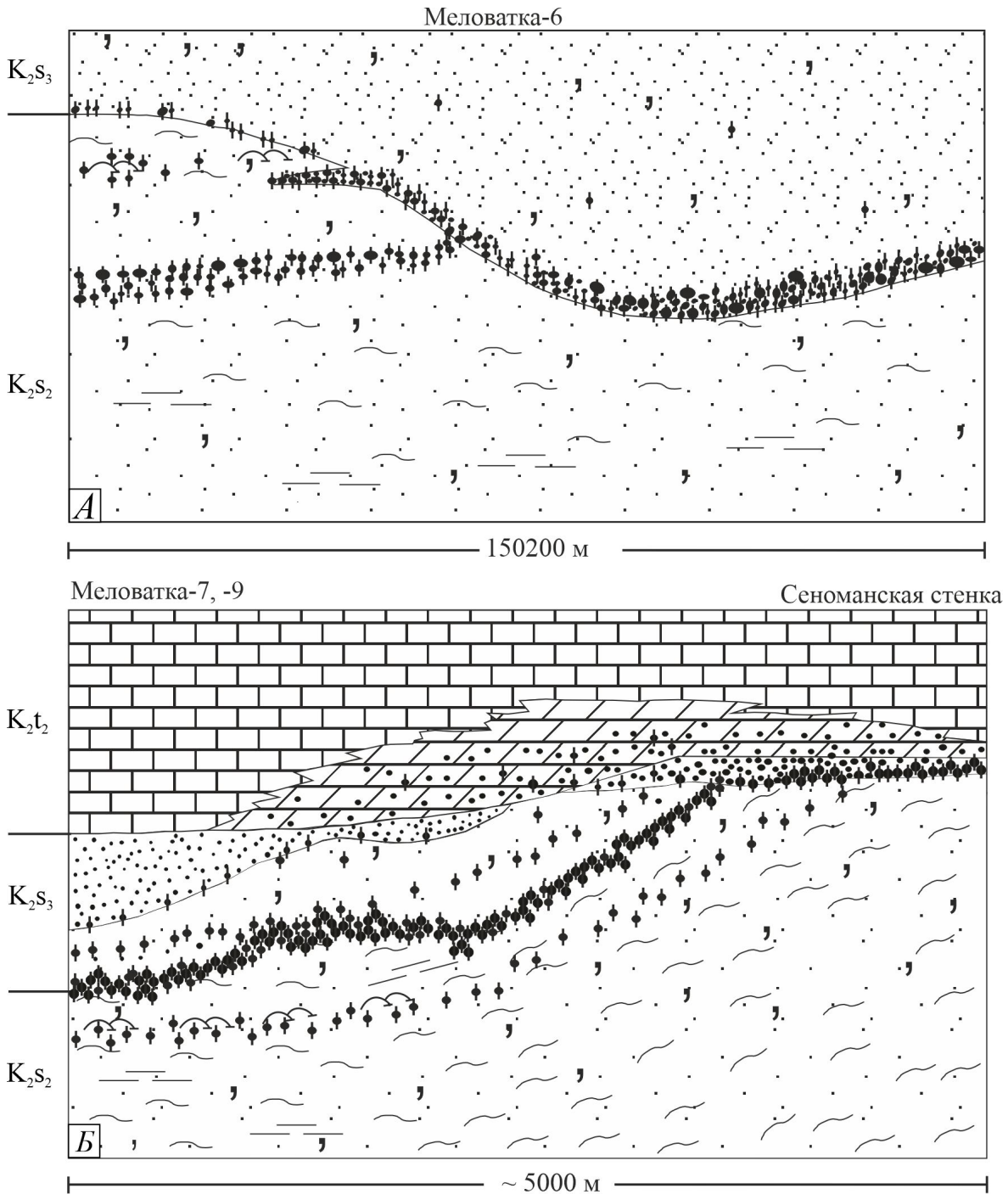


Рис. 4. Формирование вторичных скоплений фосфоритовых включений при деструкции подстилающих отложений и концентрации тяжелых терригенных фракций на поверхности размыва: А – эрозионный срез среднесеноманских отложений в разрезе Меловатка-6, Б – образование фосфоритового горизонта в основании среднетуронских мергелей в разрезе Меловатская стенка при конседиментационном срезе содержащих фосфоритовые включения средне- и верхнесеноманских отложений (западное крыло Жирновской брахиантиклинали). Условные обозначения см. рис. 3

фосфоритовых включений, линз и прослоев в состав все более поздних и мощных горизонтов, порой состоящих из нескольких прослоев (см. рис. 4).

**2. Ихнофоссилии.** По литологическому составу и степени фосфатизации выделено два

гетерохронных подкомплекса, в целом тождественных ранее рассмотренным на примере фоссилий, – сеноманский и туронский.

**Сеноманский подкомплекс** рассматривается в составе двух групп: копролиты и ядра ходов и нор.



**Копролиты** (130 экз.). Выделено три паратаксономические группы: селяхикорпус (20%), ихтиокоприды (7%) и крустациокопрулиды (73%). Преобладание форм последней группы, копролитов декапод, объясняется тем, что они представлены в виде копрогенных агрегатов размером до 1 см (4 экз.), размеры самых копролитов около 1 мм. Размеры копролитов предполагаемых «телеостей» и «эласмобранхий» изменяются в пределах 2–15×13–18 мм. Все копролиты в разной степени фосфатизированы, большая часть фрагментирована и окатана. Часто копролиты полной сохранности и отдельные их «чешуи» заключены в фосфоритовые агрегаты.

**Ядра ходов и нор.** Выделено три группы ходов, различающихся, главным образом, диаметром ядер и их длиной. Все ядра ходов разрушены (17 экз.), окатаны и некоторые представлены в виде секторов поверхности стенки. В составе первой группы рассматриваются ходы диаметром 2–3 мм, второй – 1,5–2 см, третьей – 2–5 см, при средней их длине до 10–12 см.

**Сохранность ихнофоссилий.** Сохранность полных форм копролитов позволяет предположить, что их фосфатизация происходила очень быстро, до их поедания или разрушения на поверхности подвижного осадка. Копролиты, прошедшие стадию литификации, в последующем вымывались из осадка, первичных захоронений или горизонтов конденсации и акумулировались с вместе с зубами рыб. Различная степень фосфатизации и окатанности копролитов может свидетельствовать об эпизодичности и неоднократности процессов их фосфатизации в процессе перемывов и вымывании копрогенного материала из осадка и последующей фоссилизации.

Фоссилизация быстро разрушаемых экскрементов водных организмов, оказывавшихся на поверхности осадка и близ нее, свидетельствует о сорбционных возможностях копрогенного материала по отношению к фосфатным соединениям. Наблюдения по особенностям фоссилизации бентосных организмов и ихнофоссилий позволяют высказать предположение о том, что процесс фосфатизации биогенных компонентов происходил очень быстро в зоне взмучивания, между осадком и водной средой. Фосфатизация способствовала сохранению копрогенного материала в терригенных породах прибрежных морских фаций (разрез Белое Озеро) [7]. В породах карбонатного и кремнистого состава находки копролитов редки.

Разнообразный и количественно представительный сеноманский подкомплекс ихнофоссилий формировался по осадкам песчано-алевритового состава. Фосфатные соединения, на основе бактериально-иловой пленки, покрывали поверхность осадка, иногда цементировали его до некоторой степени, а в некоторых случаях под воздействием волновых процессов скатывалось в виде трубочек или сфер концентрического

строения (разрез Меловатка-6, нижний сеноман). Фосфатное вещество по полостям, по стенкам ходов и нор проникало и вглубь осадка. При последующем разрушении осадка расположенные в нем фосфатизированные вертикально ориентированные сегменты ходов концентрировались в составе крупной и тяжелой фракции формировавшегося горизонта фосфоритов в виде веретено- и трубкообразных включений.

Распространение ходов и нор роющих организмов (декапод, моллюсков, брахиопод, червей и личинок разнообразных организмов) приурочено к обстановкам активных перетоков водных масс, преимущественно ламинарных течений [8–10]. Расселение сообществ роющих и зарывающихся организмов сопряжено формированием на приподнятых участках морского дна образований типа «твердое дно». Стабильные придонные течения и волновые процессы способствовали развитию разнообразного ихнофаунистического сообщества, формированию ярусного профиля «твердого дна».

**Туронский подкомплекс.** Представлен небольшими фрагментами ядер ходов декапод песчано-карбонатного состава, некоторые из которых слабо пропитаны кремнеземом. По величине диаметра выделено две группы ядер ходов: 2–3 мм и 1,5–2 см. Поверхность ядер обычно размыта, сглажена. Ядра песчано-карбонатного состава разрушаются при отмывке материала пробы. Туронские формы составляют 30 % от всех ихнофоссилий в ориктоценозе.

Наличие туронских ихнофоссилий, по габитусу во многом сходных с сеноманскими, позволяет утверждать, что в целом аналогичные условия подвижной водной среды сохранились и в раннем, и в начале среднего турона. Короткие вертикальные ходы декапод в автохтонном положении описаны в подошве карбонатных пород среднего турона, при отсутствии фосфоритов в их основании, в рядом расположенных разрезах среднего турона (разрезы Меловатка-7, -9). Нижние интервалы терригенно-карбонатных пород среднего турона пронизаны многочисленными ихнофоссилиями (разрезы Красный Яр-1 и Меловатка-3).

Таким образом, можно предположить, что нижняя часть карбонатных пород турона сформировалась в результате неоднократных перемывов и взмучивания осадка, в том числе в результате штормовых явлений, разубоживания карбонатного ила терригенным материалом подстилающих отложений. Наличие явно переотложенных карбонатных ядер ходов в составе изученного ориктокомплекса в разрезе Сеноманская стенка позволяет рассматривать возможность разрушения некоторого интервала пород, содержавших уже фоссилизированные ядра ходов туронских организмов. Вероятно, с учетом неустойчивости к деструкции карбонатных включений ядра ихнофоссилий концентрировались на поверхности



субстрата как наиболее твердые компоненты разрушаемого штормовыми процессами едва консолидированного карбонатного осадка.

## Результаты

В разрезе Сеноманская стенка скопления фосфоритовых желваков формировалась и неоднократно переотлагалась в условиях высокой турбулентной гидродинамики, преобразовывая автохтонные захоронения фоссилий в зрелый терригенный пляжевый комплекс верхней сублиторали – супралиторали. Многократное переотложение осадков, содержащих автохтонные и субавтохтонные захоронения фоссилий, их латеральный перенос обусловили концентрацию на поверхности субстрата устойчивых к деструкции фоссилий и последующее их разрушение в составе гетерохронного аллохтонного ориктоценоза. Фосфатные биогенные компоненты представлены в песчаной и мелкогалечниковой размерности.

Ни одна из групп организмов, фоссилии которых установлены в фосфоритовом горизонте, не обитала в условиях динамически активной водной среды, которая способствовала скоплению фосфоритовых включений. Одним из свидетельств аллохтонного захоронения фоссилий считается отсутствие доминирующих таксонов и экологических группировок, что свойственно нормальным морским сообществам. В рассматриваемом ориктоценозе совместно присутствуют нектонные и бентосные формы, а представители последних характеризуют несовместные биотопы [1]. Следы пребывания организмов в разных реконструированных биотопах несут выявленные биостратиграфические особенности фоссилий. Процесс фосфатизации фоссилий, проявляющийся селективно в осадке и на его поверхности, завершился до их попадания в фосфоритовый горизонт.

На фоссилиях эпибентосных организмов нет явных проявлений биоэрозии, что предполагает быстрое первичное их захоронение. Попадание этих форм в состав фосфоритового горизонта происходило уже в виде фосфатных фоссилий из разрушенного осадка. Отсутствие проявлений активной биоэрозии на фосфатных включениях объясняется условиями подвижной среды, в которой формировались скопления желваков фосфоритов, и последующим их скоротечным захоронением. Примером длительной экспозиции фоссилий на поверхности дна, при воздействии активных течений, является «губковый» горизонт нижнего сантона в разрезах Мирощники-2, Меловатка-1 и Каменный Брод. Здесь крупные интенсивно фосфатизированные скелеты кремневых губок и их фрагменты слагают каменную мостовую, испещренные до неузнаваемости многочисленными норами литофаг.

Седиментационные процессы в течение среднего и позднего сеномана на территории располо-

жения разреза Сеноманская стенка происходили, что подтверждается присутствием в ориктокомплексе средне- и поздне-сеноманских форм. Но в условиях эпизодической деструкции мощность этого интервала отложений была невелика. Реконструированные сообщества сеноманских бентосных беспозвоночных пространственно сопрягались и сменяли друг друга во времени. Темпы осадконакопления могли быть достаточными для захоронения погибших организмов, о чем можно судить по слабому проявлению биоэрозии. Многочисленные фрагменты сеноманских ихнофоссилий указывают как на проявления ламинарных течений, что отражает неравномерность темпов седиментации, так и деструкцию и дифференциацию осадка при штормовых явлениях. Данные анализа биогенной составляющей фосфоритового горизонта из разреза Сеноманская стенка коррелируются с материалами изучения синхронных образований в разрезах Красный Яр-1, Меловатка-7 и -9. В ориктокомплексе Сеноманская стенка меньше таксономический состав, отсутствует древесный детрит и больше количество биошлама (рис. 5). Состав среднетуронского ориктокомплекса Сеноманская стенка свидетельствует о преемственности таксономического состава с учетом сокращения разнообразия и количества фоссилий, с ориктокомплексами из верхнесеноманских фосфоритовых горизонтов (рис. 6).

Существенные процессы размытия сеноманских отложений и отсутствие последовательного осадконакопления происходили в раннетуронское время. Скопление фосфатных фоссилий в разрезе Сеноманская стенка формировалось преимущественно за счет переотложения подстилающих сеноманских отложений и выноса значительной части тонко- и мелкодисперсных осадков. О размытии осадков и переотложении из них фоссилий свидетельствует большое количество фосфатизированных полных ядер инфунальных форм. Значительная латеральная транспортировка фоссилий отсутствовала и в туронское время, о чем свидетельствуют фрагменты ростров туронских белемнитов и крупный фрагмент створки иноцерамуса.

Особенности поздне-сеноманского – среднетуронского осадконакопления обусловлены формированием структурным планом территории. Сопоставление серии разрезов (см. рис. 3, 4) показывает значительный эрозионный срез верхне- и среднесеноманских образований по направлению к сводам антиклиналей, который предшествовал туронскому осадконакоплению. В раннетуронское время сводам этих структур в рельефе дна моря соответствовали участки отмелей, где в процессах седиментации отражались сгонно-нагонные и штормовые явления.

Рассмотрение характера захоронений в верхнемеловых отложениях скелетов кремневых губок идеальной сохранности, массовых скоплений

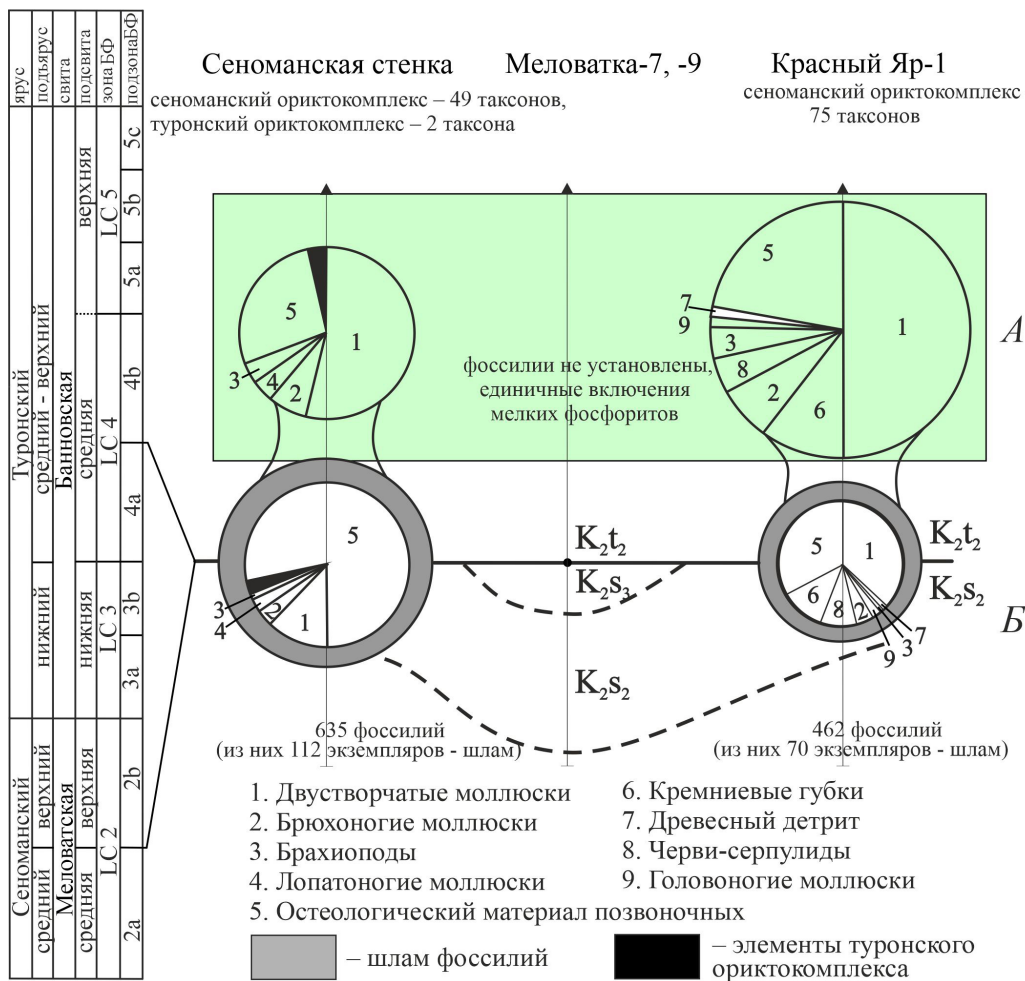


Рис. 5. Сопоставление структуры и состава биогенных компонентов объемных проб, взятых из фосфоритового горизонта среднего турона в разрезах Сеноманская стенка – Меловатка-7, -9 – Красный Яр-1: А – количество таксономических групп в составе ориктокомплексов, Б – количество фоссилий

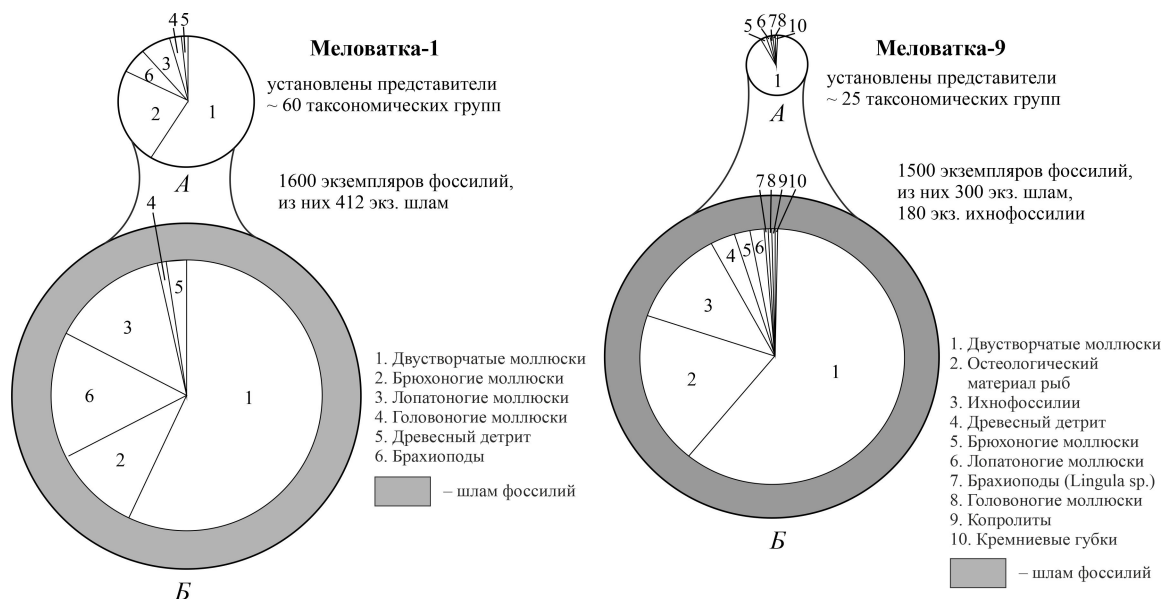


Рис. 6. Соотношение структуры и состава биогенной составляющей проб фосфоритового горизонта, взятых из фосфоритового горизонта верхнего сеномана, из разрезов Меловатка-1 и Меловатка-9: А – количество таксономических групп, Б – количество фоссилий



копролитов и слепков мягких тканей, подвергшихся импрегнированию фосфатными соединениями [7, 11, 12], подводят к обсуждению скорости процесса фоссилизации. Возможно, резкие изменения геохимического режима придонных вод способствовали гибели губок, хорошей сохранности их габитуса и дермальной скульптуры, чему способствовали быстро происходившие процессы фосфатизации – в течение нескольких часов.

### Выводы

Комплексное детальное изучение насыщенных фосфилами конденсированных и концентрированных образований позволяет реконструировать события некоторого интервала времени, которые не сохранились в нормальной последовательности напластования пород как следствие перерывов в осадконакоплении. При достоверном и детальном биостратиграфическом обеспечении прослеживание синхронных интервалов пород, насыщенных фосфоритовыми включениями, позволяет провести палеоструктурный анализ территории исследований, выделить конседиментационные этапы формирования локальных структур.

### Библиографический список

1. Первушов Е. М. Биогенная составляющая фосфоритового горизонта среднего турона в разрезе Сеноманская стенка. Статья 1. Материал и палеоэкологический анализ // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия : Науки о Земле. 2022. Т. 22, вып. 4. С. 268–282. <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2022-22-4-268-282>
2. Гужикова А. А., Первушов Е. М., Рябов И. П., Фомин В. А. Магнитозона обратной полярности в турон-коньяке северного окончания Доно-Медведицких дислокаций // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия : Науки о Земле. 2020. Т. 20, вып. 4. С. 262–277. <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2020-20-4-262-277>
3. Pervushov E. M., Ryabov I. P., Guzhikov A. Yu., Vishnevskaya V. S., Kopaevich L. F., Guzhikova A. A., Kalyakin E. A., Fomin V. A., Sel'tser V. B., Il'inskiy E. I., Mirantsev G. V., Proshina P. A. Turonian–Coniacian Deposits of the Kamennyi Brod-1 Section (Southern Ulyanovsk-Saratov Trough) // Stratigraphy and Geological Correlation. 2019. Vol. 27, № 7. P. 804–839. <https://doi.org/10.1134/S0869593819070025>
4. Беляев Г. М., Гликман Л. С. Зубы акул на дне Тихого океана // Труды Института океанологии АН СССР. 1970. Т. 88. С. 252–280.
5. Бирюков А. В. О стратиграфическом значении эластобранхий (Chondrichthyes, Elasmobranchii) в сеномане Правобережного Поволжья // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия : Науки о Земле. 2018. Т. 18, вып. 1. С. 27–40. <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2018-18-1-27-40>
6. Фоминский В. И. О трех функциях затопленных палеорусел в формировании сеноманских фосфоритовых залежей Воронежской антеклизы // Полезные ископаемые в осадочных толщах. Москва : Недра, 1973. С. 103–111.
7. Первушов Е. М., Архангельский М. С., Иванов А. В. Каталог местонахождений морских рептилий в юрских и меловых отложениях Нижнего Поволжья. Саратов : Издательство ГосУНЦ «Колледж», 1999. 230 с.
8. Хэллем Э. Интерпретация фаций и стратиграфическая последовательность. Москва : Мир, 1983. 326 с.
9. Найдин Д. П., Копяевич Л. Ф. Внутрiformационные перерывы верхнего мела Мангышлака. Москва : Издательство Московского университета, 1988. 141 с.
10. Барабошкин Е. Ю., Веймарн А. Б., Копяевич Л. Ф., Найдин Д. П. Изучение стратиграфических перерывов при производстве геологической съемки: методические рекомендации. Москва : Издательство Московского университета, 2002. 163 с.
11. Первушов Е. М. Роль данных тафономии в изучении процессов формирования губковых слоев верхнего мела Поволжья // Теория и опыт тафономии. Саратов : Издательство Саратовского университета, 1989. С. 121–126.
12. Курочкин Е. Н., Савельев С. В., Постнов А. А., Первушов Е. М., Попов Е. В. Головной мозг примитивной птицы из верхнего мела европейской части России // Палеонтологический журнал. 2006. № 6. С. 69–80. <https://doi.org/10.1134/S0031030106060086>

Поступила в редакцию 15.07.2022; одобрена после рецензирования 10.10.2022; принята к публикации 16.12.2022  
The article was submitted 15.07.2022; approved after reviewing 10.10.2022; accepted for publication 16.12.2022



Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Науки о Земле. 2023. Т. 23, вып. 1. С. 53–60  
*Izvestiya of Saratov University. Earth Sciences*, 2023, vol. 23, iss. 1, pp. 53–60  
<https://geo.sgu.ru>

<https://doi.org/10.18500/1819-7663-2023-23-1-53-60>, EDN: SEEWEF

Научная статья  
УДК 563.45(116.3:470.4)

## Колониальная *Leptophragmidae* (Porifera, Hexactinellida) из нижнего сантона Поволжья



Е. М. Первушов

Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, Россия, 410012, г. Саратов, ул. Астраханская, д. 83

Первушов Евгений Михайлович, доктор геолого-минералогических наук, профессор, [pervushovem@mail.ru](mailto:pervushovem@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-7962-0274>

**Аннотация.** Рассмотрение морфологии скелета нового представителя семейства *Leptophragmidae*, в строении которого отсутствуют субоскулы, подтверждает отмеченные ранее закономерности формирования модульных форм гексактинеллид. Хорошая сохранность крупной колонии позволила обозначить аспекты палеоэкологии и тафономии поздних представителей среднеконьякской – раннесантонской сукцессии кремниевых губок.

**Ключевые слова:** губки, гексактинеллиды, *Leptophragmidae* колонии, поздний мел

**Для цитирования:** Первушов Е. М. Колониальная *Leptophragmidae* (Porifera, Hexactinellida) из нижнего сантона Поволжья // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Науки о Земле. 2023. Т. 23, вып. 1. С. 53–60. <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2023-23-1-53-60>, EDN: SEEWEF

Статья опубликована на условиях лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY 4.0)

Article

### Colonial *Leptophragmidae* (Porifera, Hexactinellida) from the Lower Santonian of the Volga region

Е. М. Pervushov

Saratov State University, 83 Astrakhanskaya St., Saratov 410012, Russia

Evgeny M. Pervushov, [pervushovem@mail.ru](mailto:pervushovem@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-7962-0274>

**Abstract.** Study of the skeletal morphology of a new representative of the *Leptophragmidae* family, with no suboscula in its structure, provides support for the earlier specified regularities in generation of Hexactinellida modular forms. Good preservation state of a major colony has made it possible to specify the aspects of paleoecology and taphonomy in the later representatives of the Middle Coniacian – Early Santonian succession of siliceous sponges.

**Keywords:** Sponges, Hexactinellida, *Leptophragmidae*, colonies, Late Cretaceous

**For citation:** Pervushov E. M. Colonial *Leptophragmidae* (Porifera, Hexactinellida) from the Lower Santonian of the Volga region. *Izvestiya of Saratov University. Earth Sciences*, 2023, vol. 23, iss. 1, pp. 53–60 (in Russian). <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2023-23-1-53-60>, EDN: SEEWEF

This is an open access article distributed under the terms of Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC-BY 4.0)

### Введение

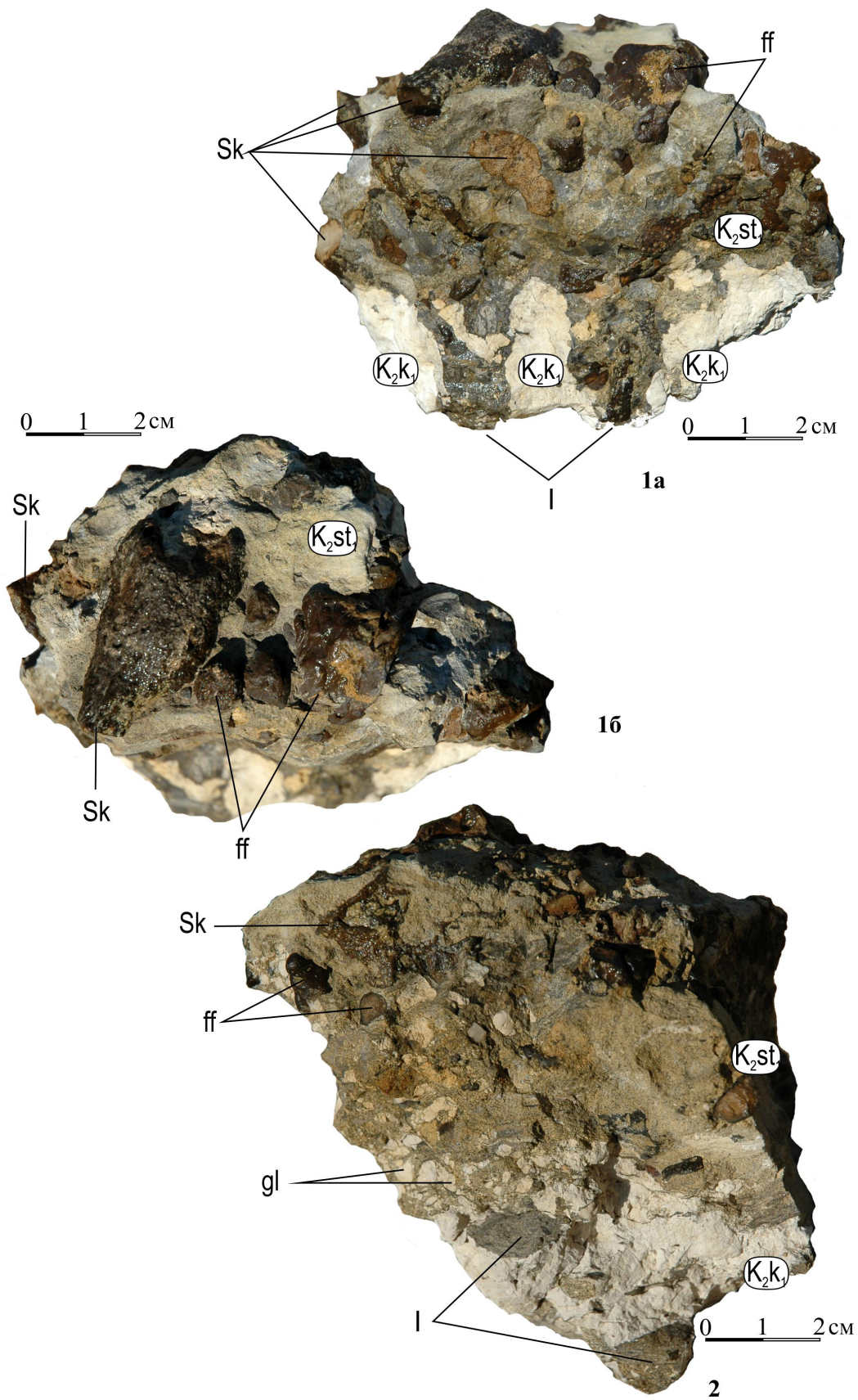
В разрезе Мирошники-2, в породах нижнего сантона скелеты губок приурочены к двум уровням [1]. Нижний из них – это скопление окатанных фосфатизированных скелетов кремниевых губок и их фрагментов со следами биоэрозии, слагающее подошву нижнесантонских мергелей (табл. 1). Это диахронное образование, разнообразное по сложению и таксономическому составу, распространено на территории Поволжья и известно как «губковый» горизонт [2]. В одном метре выше, в прослое пятнистого кремнистого мергеля, заключены разрозненные тонкостенные скелеты кремниевых губок лабирин-

тового и ветвистого строения (*Etheridgia* sp. ind., *Plocoscyphia* sp. ind., *Leptophragma* sp. ind.), составляющие второй, верхний, уровень. Один, а иногда и два-три подобных прослоя фоссилей были ранее прослежены в разрезах Багаевка, Нижняя Банновка, Синенькие, Озерки и Пудовкино [3, 4].

Сообщество губок, скелеты которых слагают верхний прослой, малоизвестно, что объясняется немногочисленностью местонахождений и своеобразной сохранности фоссилей. В таких прослоях скелеты губок характеризуются хорошей первичной сохранностью благодаря автохтонному и субавтохтонному их захоронению.



Таблица 1





В этом случае литологический состав породы, вмещающей скелет губки и выполняющей его внутренние полости, часто один и тот же. При этом тонкая скелетообразующая стенка сложного морфологического облика литологически не обособлена от вмещающей породы. Это обстоятельство не способствует извлечению из породы объемных форм в полной сохранности, без чего невозможно изучение скульптуры и габитуса губки. При подобной сохранности фоссилий на поверхности сколов породы прослеживается лишь произвольное сечение скелетов, что предполагает условным определение губок на уровне семейства и лишь иногда – рода [5].

В местонахождении Мирошники-2 из верхнего прослоя фоссилий выделено несколько образцов породы, на сколах которой прослеживается трубчатое строение губок *Etheridgia* sp. ind., *Plocoscyphia* sp. ind. и *Leptophragma* sp. ind. Один крупный образец диаметром до 0,5 м и толщиной до 0,3 м с едва заметными признаками радиально ориентированных элементов скелета был извлечен из разреза целиком. В результате препарирования этого «монолита» удалось проследить строение крупной настоящей колониальной губки, представителя семейства *Leptophragmidae* (табл. 2).

#### Палеонтологическая часть

Из верхних интервалов нижнесантонского «губкового» горизонта это первая губка полной сохранности, что и позволило ее диагностировать, выделив новый вид и род. Рассмотрение данной фоссилии расширяет характеристику поздних стадий сукцессии спонгий на протяжении среднего коньяка – раннего сантона и дополняет информацию по ряду аспектов изучения позднемеловых гексактинеллид.

*Сукцессия губок и биоэрозия.* Вторая фаза расселения губок гексактинеллид на юго-востоке Восточно-Европейской провинции проявилась в середине коньякского века и локализовалась, вероятно, в позднесантонское время [2, 4, 6]. Проследить все перипетии этого сообщества в одной структурно-фациальной зоне и тем более в одном разрезе не представляется возможным. Начальные моменты вселения губок в акватории провинции в среднем коньяке прослежены лишь на юге правобережного



Таблица 1. Образцы «губкового» горизонта, залегающего в основании мергелей нижнего сантона. Фиг. 1. Скопления фрагментов фосфатных скелетов кремневых губок и желваковых фосфоритов: 1а – вид в вертикальной плоскости, 1б – вид сверху. Фиг. 2. Мелкая галька подстилающих карбонатных пород в основании «губкового» горизонта, вид в вертикальной плоскости. Мирошники-2. Нижний коньяк – нижний сантон. Условные обозначения: I – ихнофоссилии, Sk – фосфатные скелеты кремневых губок, ff – желваковые фосфориты, gl – галька карбонатных пород нижнего коньяка (цвет онлайн)

Поволжья. Здесь, на юго-западе Ульяновско-Саратовского прогиба, в разрезах Каменный Брод, Чухонастовка-5, Мирошники-2 и Меловатка-1 [4, 5] выделены прослой мергелей, содержащие равномерно рассеянные и конденсированные скелеты губок. Таксономический состав сообщества не отличается разнообразием, здесь установлены представители семейств: *Ventriculitidae* (*Ventriculites cribrosus* (Phillips), *V. sp.*, *Orthodiscus* sp., *Sporadoscinia* sp., *Rhizopoterion* sp.); *Camerospongiidae* (*Tremabolites polymorphum* (Sinzov), *Becksia* sp., *Etheridgia* sp., *Plocoscyphia* sp., *Paraplocia* sp.); *Leptophragmidae* (*Leptophragma murchisoni* (Goldfuss), *Guettardiscyphia roemeri* (Pomel), *G. stellata* (Michelin), *G. sp.*) и *Zittelispongiidae*. Поселения этих губок развивались спорадически, на участках проявления течений в интервалах нижней сублиторали. Скелеты этих беспозвоночных захоронены автохтонно и субавтохтонно, без следов фосфатизации, совместно с тонкими раковинами мелких двустворчатых моллюсков и брахиопод.

Максимальное таксономическое разнообразие кремневых губок, гексактинеллид и демоспонгий при значительном площадном распространении приходилось на начало раннесантонского времени [2, 7]. Локально, в пределах прибрежных полос и внутриакваториальных мелководий, сообщество губок развивалось продолжительное время, на протяжении всего раннего сантона. Поселения толстостенных (*Cephalites*, *Orthodiscus*) и мелкорослых (*Becksia*, *Etheridgia*) гексактинеллид постепенно сменяли высокие и ветвистые представители этой группы (*Leptophragmidae*, *Zittelispongiidae*) и демоспонгии. Условия обитания представителей этого сообщества и последующего захоронения предопределяли особенности их фоссилизации. Скелеты губок, обитавших в начале формирования раннесантонских поселений, в той или иной степени фосфатизированы, часто фрагментированы и несут следы биоэрозии. Селективная фосфатизация тел губок на поверхности осадка способствовала хорошей сохранности фоссилий, скульптуры и их габитуса.

Описываемая в этой работе губка характеризует поздние стадии среднеконьякского – сантонского спонгиосообщества. Завершающие события этой сукцессии прослежены в нескольких разрезах, где установлены спорадические автохтонные скопления тонкостенных высоких гексактинеллид. Поселения этих губок также развивались в интервалах нижней сублиторали, при воздействии ламинарных течений на фоне нарастающей трансгрессии.

*Морфология колониальных губок.* Хорошая сохранность скелета (экз. № 122/8889) позволила восстановить облик настоящей колонии. Многие позднемеловые колониальные губки известны по фрагментам, часто по апикальным

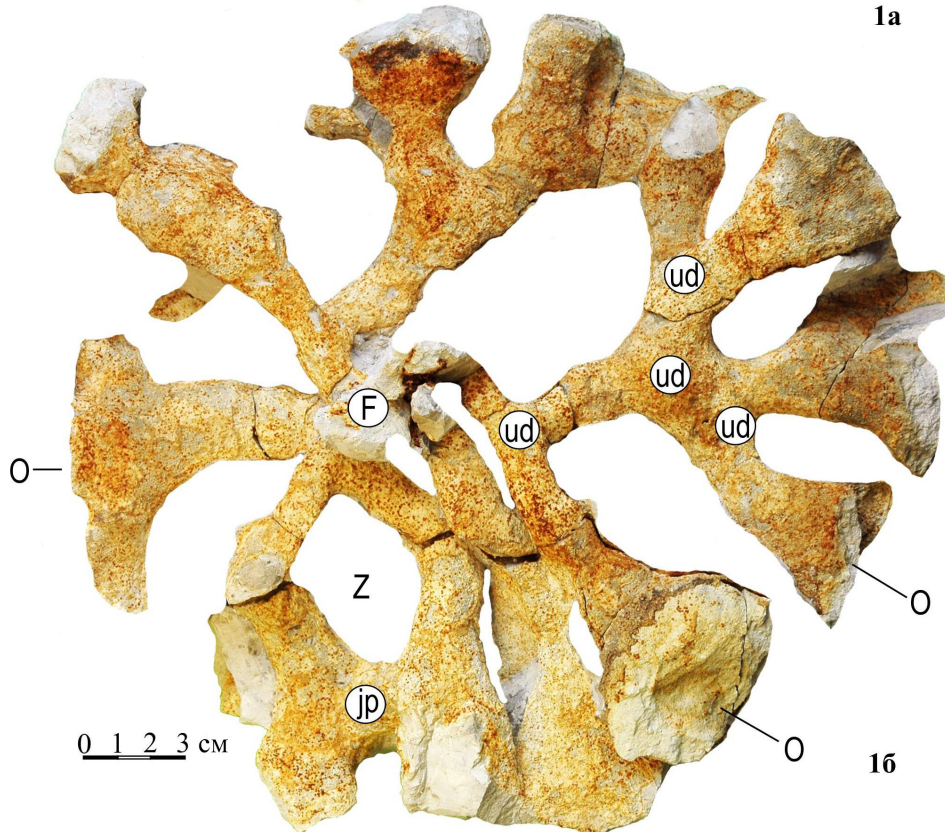




Таблица 2



1a



1b

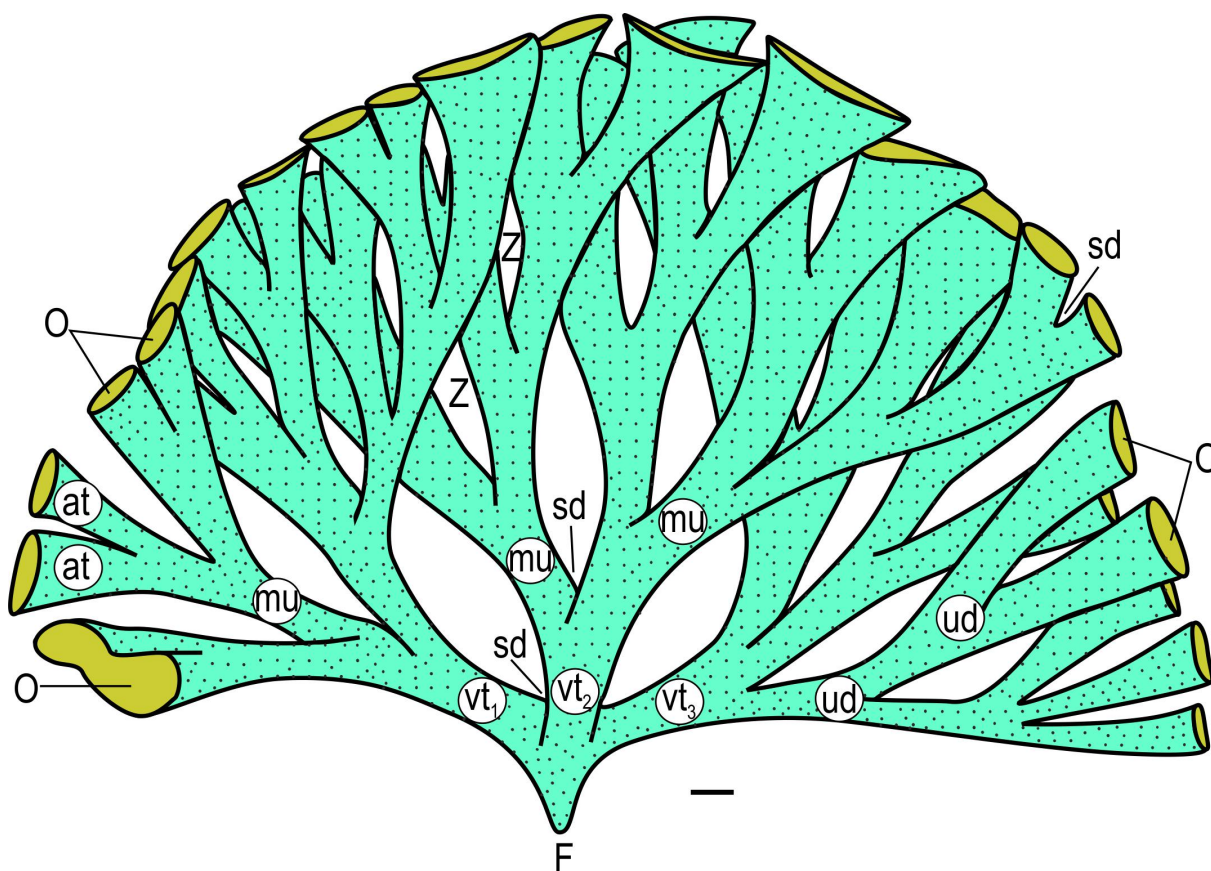


участкам дихотомизирующих ветвей с оскулюмами [8]. По очертаниям этих оскулюмов предполагаются варианты формирования колоний при проявлении синхронной дихотомии [9]. Гибель организма приводила к частичному разрушению скелета, опаданию несущих ветвей на поверхность осадка. Механическое разрушение скелета, в условиях активной придонной гидродинамики, способствовало его сегментированию на относительно устойчивые к разрушению фрагменты, в частности к обособлению апикальных частей ветвей. Рассмотрение найденного в разрезе Мирошники-2 сжатого в горизонтальной плоскости скелета, с основанием и с протяженными распластанными ветвями (см. табл. 2), сделало возможным реконструкцию прижизненного габитуса губки в виде едва асимметричной

полусферы (рисунок). Необычным в строении этой фоссилии является то обстоятельство, что максимальное значение диаметра скелета соотносится с его высотой. В строении наиболее протяженных ветвей прослеживается до трех-четырех уровней дихотомии, а между ассимилированными участками стенки сопряженных ветвей предполагается наличие зияний. Наличие в строении скелета узлов дихотомии указывает на колониальный уровень организации этой губки, а наличие зияний позволяет рассматривать ее как настоящую колонию. Подтверждается конечность формообразования колониальных форм позднемиоценовых гексактинеллид. Изоморфизм в строении скелетов первичных и настоящих колониальных губок прослеживается преимущественно среди представителей подотряда *Hexactinosa* (*Sporadopyle*, *Craticulariidae*, *Leptophragmidae*, *Zittelispongiidae*) [9].

**Палеоэкология губковых лугов.** Поселения кремниевых губок, формировавшиеся непродолжительное время в условиях выдержанных ламинарных течений в нижней сублиторали, отличались ограниченным таксономическим составом. Тонкостенные и часто высокие губки

←  
Таблица 2. Фиг. 1. *Frutexispongia sphaerica*, sp. nov. Экз. РЕМ SSU, № 122/8889: 1 а – вид на скелет губки снизу, в породе, 1 б – очертания нижних ветвей скелета без вмещающей породы. Мирошники-2. Нижний сантон. Условные обозначения: F – основание скелета, O – оскулюмы, Z – зияние, ud – узел разделения ветвей, дитрихотомии, jr – перемычка (цвет онлайн)



Реконструкция габитуса скелета *Frutexispongia sphaerica*, sp. nov., общий вид в вертикальной плоскости. Условные обозначения: F – основание скелета, O – оскулюмы, Z – зияние, at – апикальные участки ветвей с оскулюмами, mu – междуузлие, vt<sub>1-3</sub> – основные ветви скелета, исходящие от его основания, sd – седловина, ud – узел дихотомии ветвей. Величина масштабной линейки 10 мм (цвет онлайн)



занимали нижний (*Etheridgia*, *Becksia*), средний (*Lepidospongia*, *Coeloptychium*, *Guettardiscyphia*) и верхний (*Zittelispongia*, *Leptophragmidae*) этажи бентосных поселений. В этих биотопах развивались губки с изометричным и едва асимметричным скелетом без элементов дермальной скульптуры либо скульптура была представлена мелкими плотно расположенными остиями. Поселения губок дополняли мелкие тонкостворчатые моллюски (иноцерамы, устрицы, *Chlamys* sp., *Pecten* sp.) и мелкоразмерные замковые брахиоподы. Поселения этих беспозвоночных обычны на субплоских фрагментах и на скелетах погибших губок (*Becksia*, *Lepidospongia*).

**Аспекты тафономии и биостратиномии.** Скелеты губок, составлявших губковые луга, после гибели организма часто сохранялись в осадке, на месте бывшего обитания бентосных организмов. В процессе диагенеза и седиментогенеза объемные, ветвистые и кустистые формы деформировались, сжимались вместе с осадком. Высокие конические и стержневидные формы (*Guettardiscyphia*, *Sororistirps*, *Tremabolites*) падали под тяжестью более объемных и тяжелых, чем основание губки, верхних сегментов скелета, перемещались по поверхности осадка и вращались вокруг своего основания под воздействием течений. Известен пример расположения фрагментированной верхней части скелета рядом с его основанием (*Rhizopoteron*). Фрагменты скелетов оказывались вторичным субстратом для поселений устриц. Скелеты губок, ширина основания которых равнялась их высоте или превышала ее, обычно отличаются полной первичной сохранностью и не несут на себе следов перемещения (*Etheridgia*, *Plocoscyphia*). После гибели губки и в начале ее деформации, сжатия в горизонтальной плоскости (см. табл. 2), вмещающий карбонатно-глинистый осадок был пронизан многочисленными ходами личинок диаметром до 1 мм.

В автохтонных захоронениях скелеты губок обычно сложены соединениями железа и не содержат фосфатов. Изменения состава веществ, выполнявших скелетообразующую стенку губок, происходили в соответствии с преобразованием вмещающего их осадка и вариациями биогеохимического режима окружающей среды. На стадии седиментогенеза и раннего диагенеза, в условиях внешней щелочной среды распад органического матрикса погибшей губки способствовал формированию внутри скелета восстановительной обстановки, что приводило к выполнению этой части фоссилии агрегатами марказита. Данному процессу замещения предшествовали растворение кремниевых спикул и уничтожение очертаний скелета в центре фоссилии. Подобные диагенетические изменения известны на примере массивных раннесантонских демоспонгий (*Actinosiphonia*). В последующем, на стадиях позднего диагенеза и литогенеза, кремнезем (халцедон, опал), основным источником которого

служили спикулы губок, спорадически цементировал дермальную поверхность стенок скелета и выполнял полости ихнофоссилий. В новейшее геологическое время, в условиях активного гипергенеза, элементы фоссилий, сложенные марказитом, замещаются окислами и гидроокислами железа. Благодаря желтому и красно-коричневому цвету соединений железа, которыми сейчас представлены стенки скелетов, фоссилии хорошо заметны на фоне вмещающих серо-белых карбонатов и силицитов.

Современная сохранность автохтонно захороненных губок, скелеты которых выполнены окислами железа, а иногда и гипсом, не позволяет проследить строение спикульной решетки и дермальной скульптуры. Часто данное обстоятельство не позволяет провести определение таксономической принадлежности губок до уровня рода и вида. В этом отношении выгодно отличаются фосфатизированные окаменелости из субавтохтонных захоронений, процесс фоссилизации которых способствовал сохранению не только габитуса скелета, но и деталей скульптуры.

### Описательная часть

Тип Hexactinellida

Подотряд Hexactinosa A. Schrammen, 1903  
Семейство Leptophragmidae (Goldfuss, 1833)

**Диагноз.** Тонкостенные скелеты с реактивной равномерно рассеянной скульптурой. Апо- и прозопоры мелкие, круглые, реже овальные, по размерам равны узлам ребер и реже ребрам. Количество прозопор варьирует от 100 до 400 на 1 см<sup>2</sup>, наибольшая плотность расположения остий отмечается в строении кампанских и маастрихтских форм, обитавших в интервалах нижней сублиторали. Апо- и прозопоры субцилиндрические, диаметром 0,3–0,6 мм. Мелкие субпризматические клетки, ориентированные вдоль оси скелета, составляют интерканальную решетку ромбовидных и субтреугольных очертаний, которая предстает на дермальной поверхности в виде веерообразных секторов. Паренхимальная спикульная решетка предполагается в основании парагастральной полости плициформных лептофрагмид. Развита дермальный и парагастральный кортекс.

**Замечания.** Фоссилии полной сохранности редки, что объясняется небольшой толщиной стенки (0,5–2 мм), образующей высокие складчатые или ветвистые скелеты. Значения параметров элементов скульптуры постоянны лишь на плоских сегментах скелета, лопастях. В онтогенезе с увеличением ширины дермальных ребер в их средней части проявляются мелкие прозопоры, что локально нарушает регулярность расположения элементов скульптуры. Вариации значений толщины стенки и плотности расположения



элементов скульптуры отчасти обусловлены климатической зональностью и условиями среды обитания.

**Состав.** *Leptophragminae* (Goldfuss, 1833) – одиночные и автономные губки, *Guettardiscyphiinae* (Mantell, 1822) – губки транзитного уровня организации, в строении которых присутствуют субоскулюмы [9, 10], *Frutexispongiinae* subfam. nov. – колониальные формы без субоскулюмов.

**Распространение.** Юра – палеоген Европы.

Подсемейство *Frutexispongiinae* subfam. nov.

**Диагноз.** Колониальные губки, скелет которых сформирован при неоднократной дитрихотомии ветвей, исходящих от невысокого конусовидного основания.

**Замечания.** В составе подсемейства предполагается выделение двух триб. В составе одной трибы рассматриваются представители первичных колоний, в составе второй – настоящие колонии.

**Сравнение.** От *Leptophragminae* (Goldfuss, 1833) отличается колониальной организацией, а от *Guettardiscyphiinae* (Mantell, 1822) – отсутствием субоскулюмов.

**Состав.** *Frutexispongia* gen. nov.

**Распространение.** Верхний мел Поволжья.

Род *Frutexispongia*, gen. nov.

Название рода от *frutex* (лат.) – куст, *spongia* (лат.) – губка.

**Типовой вид** – *Frutexispongia sphaerica*, sp. nov. Верхний мел, нижний сантон. Россия, Волгоградская область.

**Диагноз.** Скелет кустообразный, от стержневидного основания которого субгоризонтально, диагонально и вертикально распространяются от двух до пяти равномерно и неоднократно дихотомирующие ветви (модули). Толщина стенки около 1 мм.

**Распространение.** Сантон Поволжья.

**Состав.** Типовой вид.

*Frutexispongia sphaerica*, sp. nov.

Табл. 1, фиг. 1 а, б

Название вида от *sphaerica* (лат.) – сферическая.

**Голотип.** Экз. РЕМ SSU, № 122/8889. Нижний сантон, Мирошники-2, Волгоградская область.

**Описание.** Скелет полусферический высотой 25–30 см. Асимметричный облик скелета обусловлен разной длиной трех основных ветвей (13–16 см) и, соответственно, отличающимся количеством узлов дихотомии на них. Максимальный диаметр скелета, по ветвям, расположенным чуть выше его основания, составляет

до 30–33 см. Диаметр ветвей минимален в их основании, в центре скелета, и его значение возрастает к узлам дихотомии (до 40 мм) и максимально на апикальных участках ветвей (50–75 мм). Оскулюмы округлые и овальные, при проявлении последующей дихотомии – в виде «восьмерки» (см. рисунок). Равнокачественная синхронная дихотомия ветвей происходила в разных направлениях, образуя, таким образом, полусферу. Длина междоузлий, сегментов ветвей между узлами дихотомии варьирует от 2–3 см и до 5–7 см, а их диаметр составляет 13–20 мм. В строении наиболее протяженных ветвей прослеживается до четырех узлов дихотомии. Зияния, один из морфологических критериев определения настоящих колониальных губок, намечаются только в самых верхних участках скелета, выше третьего узла дихотомии ветвей. Округло-ромбические зияния размером 40–45 х 62–70 мм, внизу ограничены седловиной узлов дихотомии, а сверху – сомкнутыми секторами стенки, образующими оскулюмы.

**Замечание.** В апикальной части одной ветви обозначается ее трихотомия. Проявление сочетания ди- и трихотомии не свойственно в строении скелетов одного вида и тем более одной особи. Возможно, подобное наблюдение обусловлено особенностями сохранности скелета.

**Сравнение.** Типовой род.

**Состав.** Голотип.

**Распространение.** Нижний сантон Поволжья.

**Материал.** Голотип.

Автор благодарен Д. А. Шелепову, сотруднику геологического факультета Саратовского национального исследовательского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского, за консультации при рассмотрении вопросов фоссилизации скелетов кремниевых губок.

## Библиографический список

1. Гужикова А. А., Первушов Е. М., Рябов И. П., Фомин В. А. Магнитозона обратной полярности в турон-коньяке северного окончания Доно-Медведицких дислокаций // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия : Науки о Земле. 2020. Т. 20, вып. 4. С. 262–277. <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2020-20-4-262-277>
2. Первушов Е. М. Геохронология и структура «сантонского» «губкового» горизонта в пределах правобережного Поволжья // Меловая система России и ближнего зарубежья: проблемы стратиграфии и палеогеографии: сборник научных трудов / редактор Е. Ю. Барабошкин. Симферополь : Издательский дом «Черноморпресс», 2016. С. 205–207.
3. Первушов Е. М., Сельцер В. Б., Калякин Е. А., Фомин В. А., Рябов И. П., Ильинский Е. И., Гужикова А. А., Бирюков А. В., Суринский А. М. Комплексное био- и магнитостратиграфическое изучение разрезов «Озерки» (верхний мел, Саратовское правобережье). Статья 2.



Характеристика ориктокомплексов и биостратиграфия // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия : Науки о Земле. 2017. Т. 17, вып. 3. С. 182–199. <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2017-17-3-182-199>

4. Первушов Е. М., Рябов И. П., Гужиков А. Ю., Сельцер В. Б., Калякин Е. А., Фомин В. А. Результаты комплексных стратиграфических исследований турона – коньяка Поволжья // Меловая система России и ближнего зарубежья : проблемы стратиграфии и палеогеографии : материалы 11-го Всероссийского совещания / главный редактор Е. Ю. Барабошкин. Томск : Издательство Томского университета, 2022. С. 200–203.

5. Pervushov E. M., Ryabov I. P., Guzhikov A. Yu., Vishnevskaya V. S., Kopaevich L. F., Guzhikova A. A., Kalyakin E. A., Fomin V. A., Sel'tser V. B., Il'inskiy E. I., Mirantsev G. V., Proshina P. A. Turonian–Coniacian Deposits of the Kamennyi Brod-1 Section (Southern UlyanovskSaratov Trough) // Stratigraphy and Geological Correlation. 2019. Vol. 27, № 7. P. 804–839. <https://doi.org/10.1134/S0869593819070025>

6. Первушов Е. М., Рябов И. П., Сельцер В. Б., Валацки И., Калякин Е. А., Гужикова А. А., Ильинский Е. И.,

Худяков Д. В. Верхнемеловые отложения Вольской структурной зоны Восточно-Европейской платформы: турон-нижний кампан разреза Коммунар. Статья 2. Макрофаунистическая характеристика, выводы // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2022. Т. 30, № 3. С. 1–28. <https://doi.org/10.31857/S0869592X22030048>

7. Первушов Е. М. Неприметная составляющая биоценологических событий мелового – палеоценового времени // Палеонтология и стратиграфия : современное состояние и пути развития : материалы LXVIII сессии Палеонтологического общества при РАН. Санкт-Петербург : Издательство ВСЕГЕИ, 2022. С. 105–107.

8. Первушов Е. М. Псевдодеривация *Paracraticularia cylindrica* (Michelin, 1840) (Porifera, Hexactinellida) // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия : Науки о Земле. 2022. Т. 22, вып. 1. С. 51–62. <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2022-22-1-51-62>

9. Первушов Е. М. Морфотипы и модульная организация позднемеловых гексактинеллид (Porifera, Hexactinellida). Саратов : Издательство Саратовского университета, 2018. 208 с.

10. Первушов Е. М. Позднемеловые скелетные гексактинеллиды России. Саратов : Научная книга, 2002. 274 с.

Поступила в редакцию 29.10.2022; одобрена после рецензирования 25.11.2022; принята к публикации 16.12.2022  
The article was submitted 29.10.2022; approved after reviewing 25.11.2022; accepted for publication 16.12.2022



Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Науки о Земле. 2023. Т. 23, вып. 1. С. 61–71  
*Izvestiya of Saratov University. Earth Sciences*, 2023, vol. 23, iss. 1, pp. 61–71  
<https://geo.sgu.ru>

<https://doi.org/10.18500/1819-7663-2023-23-1-61-71>, EDN: JBUFSN

Научная статья  
УДК 550.8

## Результаты вероятностно-корреляционного анализа геолого-геофизических данных на территории Скифской и Прикаспийской морфоструктур для оценки перспектив нефтегазоносных областей



А. Л. Харитонов

Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн имени Н. В. Пушкова Российской академии наук, Россия, 108840, г. Москва, Троицк, Калужское шоссе, д. 4

Харитонов Андрей Леонидович, кандидат физико-математических наук, ведущий сотрудник, [ahariton@izmiran.ru](mailto:ahariton@izmiran.ru), <https://orcid.org/0000-0003-4769-6415>

**Аннотация.** В статье рассмотрены результаты применения метода корреляционного анализа данных гравитационного и магнитного полей, значений теплового потока, данных дешифрирования космических снимков, измеренных в регионах Прикаспийской и Скифской крупных концентрических морфоструктур центрального типа. В результате с помощью корреляционного метода в этих регионах был проанализирован комплекс различных геофизических полей и выявлены локальные концентрические морфоструктуры с высокими значениями гравитационного поля и теплового потока, перспективные для поисков новых месторождений нефти и газа.

**Ключевые слова:** вероятностно-корреляционный метод, Прикаспийская и Скифская концентрические морфоструктуры, геолого-геофизические данные, месторождения углеводородов

**Благодарности.** Автор искренне благодарит докторов геолого-минералогических наук Тимурзиева Ахмета Иссаковича, Сейфуль-Мулюкова Рустама, Сывороткина Владимира Леонидовича – организаторов ежегодных конференций «Кудрявцевские чтения» за их огромную работу по развитию этого учения.

**Для цитирования:** Харитонов А. Л. Результаты вероятностно-корреляционного анализа геолого-геофизических данных на территории Скифской и Прикаспийской морфоструктур для оценки перспектив нефтегазоносных областей // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Науки о Земле. 2023. Т. 23, вып. 1. С. 61–71. <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2023-23-1-61-71>, EDN: JBUFSN

Статья опубликована на условиях лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY 4.0)

Article

The results of the probabilistic correlation analysis of geological and geophysical data on the territory of the Scythian and Pre-Caspian morphological structures to assess the prospects of oil and gas-bearing areas

A. L. Kharitonov

Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radio Wave Propagation of Russian Academy of Sciences, 4 Kaluzhskoe Hwy, Troitsk, Moscow 108840, Russia

Andrey L. Kharitonov, [ahariton@izmiran.ru](mailto:ahariton@izmiran.ru), <https://orcid.org/0000-0003-4769-6415>

**Abstract.** The article considers method application results of correlation analysis of gravitational and magnetic field data, heat flux values, data of decoding satellite images measured in the regions of the Pre-Caspian and Scythian large concentric morphological structures of the central type. As a result, using the correlation method, a complex of various geophysical fields in these regions was analyzed. Local concentric morphological structures with high values of the gravitational field and heat flow promising for the search of new oil and gas fields were identified.

**Keywords:** probabilistic correlation method, Pre-Caspian and Scythian concentric morphological structures, geological and geophysical data, hydrocarbon deposits

**Acknowledgments:** The author is very grateful to doctors of geological and mineralogical sciences Akhmet Timurziev, Rustem Seiful-Mulyukov, Vladimir Syvorotkin – organizers of the annual conferences “Kudryavtsev Readings” for their great work on the development of this doctrine.

**For citation:** Kharitonov A. L. The results of the probabilistic correlation analysis of geological and geophysical data on the territory of the Scythian and Pre-Caspian morphological structures to assess the prospects of oil and gas-bearing areas. *Izvestiya of Saratov University. Earth Sciences*, 2023, vol. 23, iss. 1, pp. 61–71 (in Russian). <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2023-23-1-61-71>, EDN: JBUFSN

This is an open access article distributed under the terms of Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC-BY 4.0)



### Введение

Известно, что на территории Русской платформы имеется два крупных активно эксплуатирующихся нефтегазоносных бассейна (Прикаспийский НГБ и Донецко-Запорожский НГБ). При этом большая часть месторождений нефти и газа на территории Прикаспийского НГБ (9) и Донецко-Запорожского НГБ (7) расположена в основном в их бортовых зонах (рис. 1).

Необходимо понять, почему месторождения углеводородов располагаются либо в бортовых зонах нефтегазоносных бассейнов (Прикаспийский (9), Донецко-Запорожский (7)) (см. рис. 1), либо они почти равномерно распределены по всей территории, как, например, в регионе Западно-Сибирской впадины (Ноябрьская морфоструктура (10)) [2]. От этого зависит эффективность поисков новых месторождений нефти и газа в других нефтегазоносных бассей-

нах Российской Федерации. Автор предлагает рассмотреть вероятностно-корреляционную методику для оценки нефтегазовой перспективности территорий по данным комплекса различных геолого-геофизических параметров, которые могут определять, имеют ли нефтегазоносные бассейны (НГБ) бортовой тип или тип НГБ с равномерным распределением месторождений углеводородов, что может иметь принципиальное значение для поиска новых месторождений нефти и газа.

### Исходные материалы и методы исследования

Предлагается в качестве методики оценки нефтегазовой перспективности территорий использовать элементы теории вероятности и корреляционной теории [3]. В качестве основного параметра нефтегазовой перспективности территорий будем использовать значение суммарной

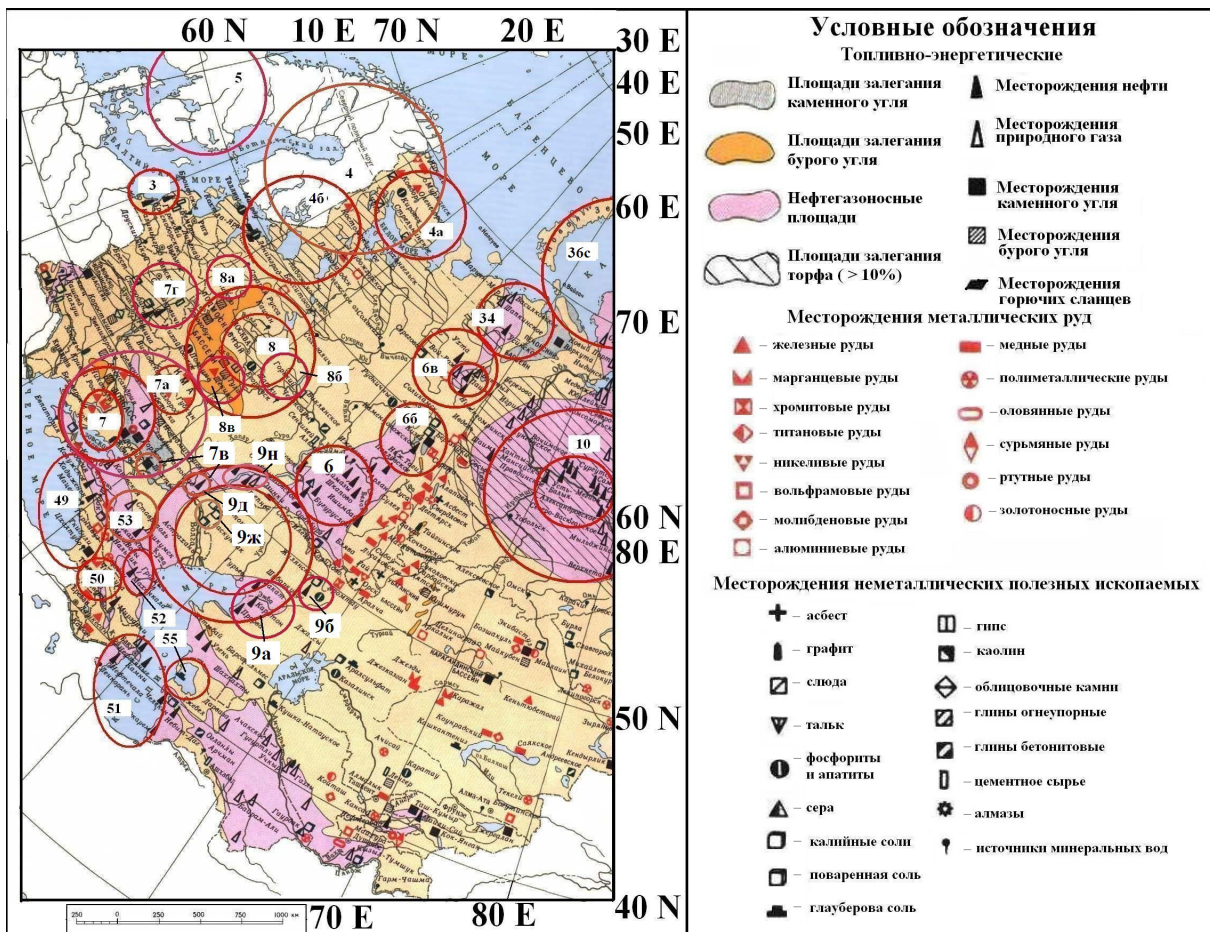


Рис. 1. Фрагмент карты месторождений полезных ископаемых для территории Русской и Западно-Сибирской платформ [1]. Окружностями выделены зоны расположения наиболее известных в настоящее время, концентрических морфоструктур, с выделенными бортовыми зонами этих морфоструктур: 3 – Прибалтийская, 4а – Кольская, 4б – Ладожская, 6 – Волго-Уральская, 6б – Кизеловская, 6в – Вой-Вожская, 7 – Скифская, 7а – Курская, 7в – Шахтинская, 7г – Белорусская, 8 – Московская, 8а – Тверская, 8б – Нижегородская, 8в – Тульская, 9 – Прикаспийская, 9а – Эмбенская, 9б – Уралтауская, 9д – Пугачевская, 9ж – Малоузенская, 9н – Жигулевская, 10 – Ноябрьская, 34 – Тимано-Печорская, 36с – Южно-Карская, 50 – Дзиркульская, 51 – Южно-Каспийская, 52 – Грозненская, 53 – Ставропольские, 54 – Валокарпинские, 55 – Кара-Богаз-Гольские (цвет онлайн)



вероятности ( $P_c$ ), состоящей из отдельных вероятностей нефтегазовой перспективности ( $P_1 - P_4$ ), рассчитанных по данным различных геофизических методов (гравиразведка, магниторазведка, геотермия, дешифрирование космических снимков):

$$P_c = P_1 + P_2 + P_3, \quad (1)$$

где  $P_1$  – значение вероятности нефтегазовой перспективности территории, определяемое по данным магнитного и гравитационного поля;  $P_2$  – значение вероятности нефтегазовой перспективности территории, определяемое по данным магнитного поля и теплового потока;  $P_3$  – значение вероятности нефтегазовой перспективности территории, определяемое по данным гравитационного поля и теплового потока.

Почему были выбраны именно эти геофизические данные для оценки нефтегазовой перспективности тех или иных районов? Хорошо известно, что многие месторождения полезных ископаемых (например, углеводороды) расположены в зонах формирования концентрических морфоструктур центрального типа [4], которые могут быть использованы при расчетах вероятности нефтегазовой перспективности той или иной территории.

В частности, по данным дешифрирования космических снимков, многие месторождения

полезных ископаемых, в том числе и месторождения нефти и газа, расположены в пределах концентрических морфоструктур центрального типа [4] (рис. 2).

Как видно из рис. 2, самыми крупными на территории Русской платформы являются Прикаспийская (9) и Скифская (7) концентрические морфологические структуры. Прикаспийская (9) концентрическая морфологическая структура имеет диаметр почти 550 км в направлении с юга на север и 900 км с запада на восток. На юго-западной бортовой зоне (Донбасско-Астраханский тектонический разлом) проходит граница Прикаспийской (9) концентрической морфоструктуры с герцинидами вала Карпинского, отделяющего ее от цепочек Ростовско-Элистинских (54), Ставропольских (53) и других (49, 50, 52) небольших концентрических морфоструктур. Западная бортовая зона Прикаспийской концентрической морфоструктуры (9), отделяющей ее от Скифской концентрической морфоструктуры (7), проходит вдоль Волгоградско-Саратовского участка (9г–9д) шовной зоны Приволжской моноклинали, проходящей по Заповольскому тектоническому разлому.

Кроме того, некоторые геофизические поля выбраны для анализа нефтегазовой перспективности потому, что многие месторождения нефти

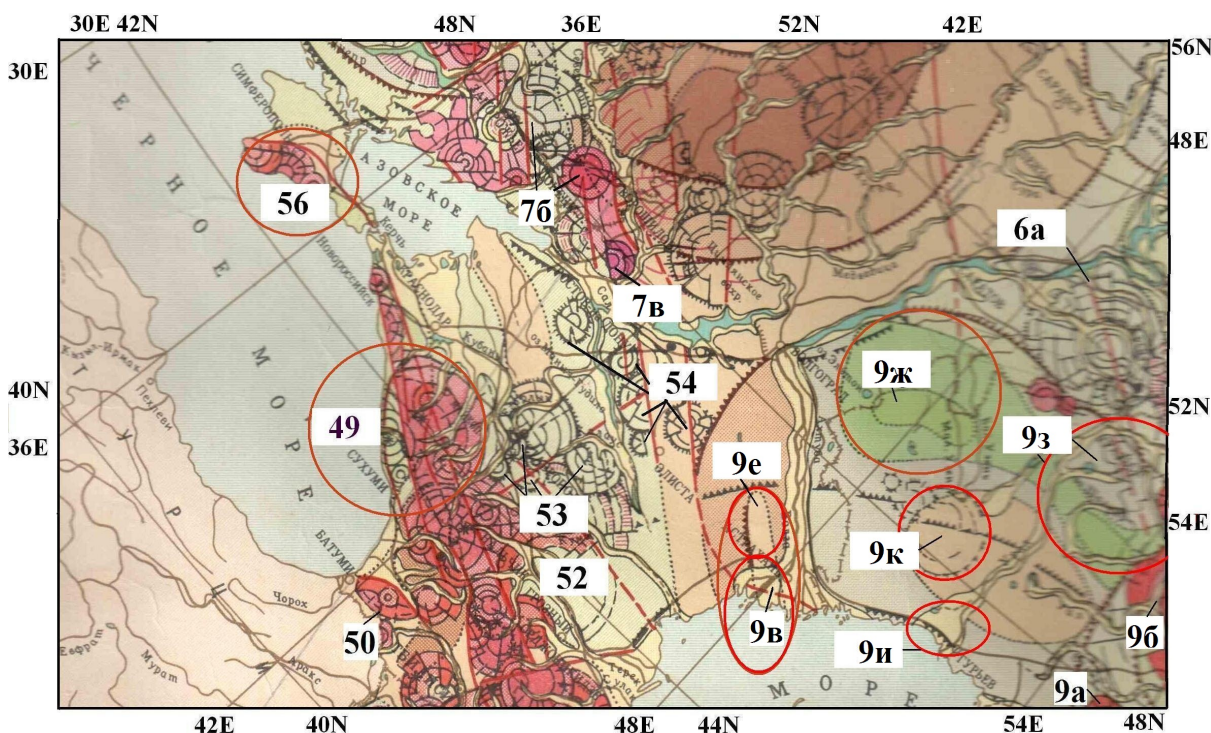


Рис. 2. Фрагмент карты морфоструктур центрального типа [4], выделенных на территории юга-востока европейской части Российской Федерации: 6а – Южно-Бузулукская, 7 – Скифская, 7б – Запорожская, 7в – Шахтинская, 9а – Эмбенская, 9б – Уралтауская, 9в – Астраханская, 9е – Нижневолжская, 9ж – Малоузенская, 9з – Хобдинская, 9и – Северо-Каспийская, 9к – Индерские, 50 – Дзирульская, 52 – Грозненская, 53 – Ставропольские, 54 – Вало-Карпинские, 56 – Крымские (цвет онлайн)





и газа расположены в зонах, где имеется большая мощность пород осадочного слоя земной коры и литосферы в целом, которая отражается в повышенных значениях различных составляющих гравитационного поля [5], которые могут быть использованы при расчетах вероятности ( $P$ ) нефтегазовой перспективности исследуемой территории по значениям корреляционных функций. Для изучения нефтегазовой перспективности на территории Прикаспийской (9) и Скифской (7) концентрических морфологических структур (Прикаспийский НГБ и Донецко-Запорожский НГБ) были использованы различные геолого-геофизические материалы (данные о гравитационном поле, тепловом потоке, аэромагнитные данные, сейсмологические). В качестве методов исследования были использованы вероятностно-корреляционные методы анализа различных геолого-геофизических данных. В частности, сначала были проанализированы спутниковые данные гравитационного поля в редукции Буге для юго-востока европейской части территории Российской Федерации и их корреляции с концентрическими морфоструктурами, выявленными по данным дешифрирования космических снимков. Как известно, одной из крупнейших морфоструктур центрального типа на территории юга европейской части России являются Прикаспийская (9) и Скифская (7) концентрические морфоструктуры и связанные с ними «дочерние» (локальные) почти концентрические (эллипсоидные) морфо-

структуры (Астраханская – 9в, Уралтауская – 9б, Эмбенская – 9а, Волго-Донская – 9г, Пугачевская – 9д, Малоузенская – 9ж, Северо-Каспийская – 9и, Индерские – 9к, Запорожская – 7б, Шахтинская – 7в) меньшего размера, выявленные по совокупным данным гравитационного поля, измеренного на различных искусственных спутниках Земли [6] (рис. 3).

Этой западной бортовой зоне Прикаспийской концентрической морфоструктуры, проходящей примерно по 43°E – 44°E градусам восточной долготы, соответствует квазилинейная почти меридионального направления зона гравитационной ступени с перепадом значений ускорения силы тяжести в редукции Буге от 0 до –30 мГал (см. рис. 3). Северная бортовая зона Прикаспийской концентрической морфоструктуры (9) проходит по Жадовскому, Илекскому, Маргукскому тектоническим разломам, вдоль гравитационной ступени примерно по 52°N градусу северной широты, с перепадом значений ускорения силы тяжести в редукции Буге от 0 до –40 мГал. Северная бортовая зона Прикаспийской концентрической морфоструктуры (9) отделяет ее от Волго-Уральской концентрической морфоструктуры (6). Краевой шов Предуральского краевого прогиба ограничивает Прикаспийскую концентрическую морфоструктуру (9) в ее восточной части. При этом в восточной бортовой зоне Прикаспийской концентрической морфоструктуры (9), проходящей по тектоническим разломам (Хобдинский,

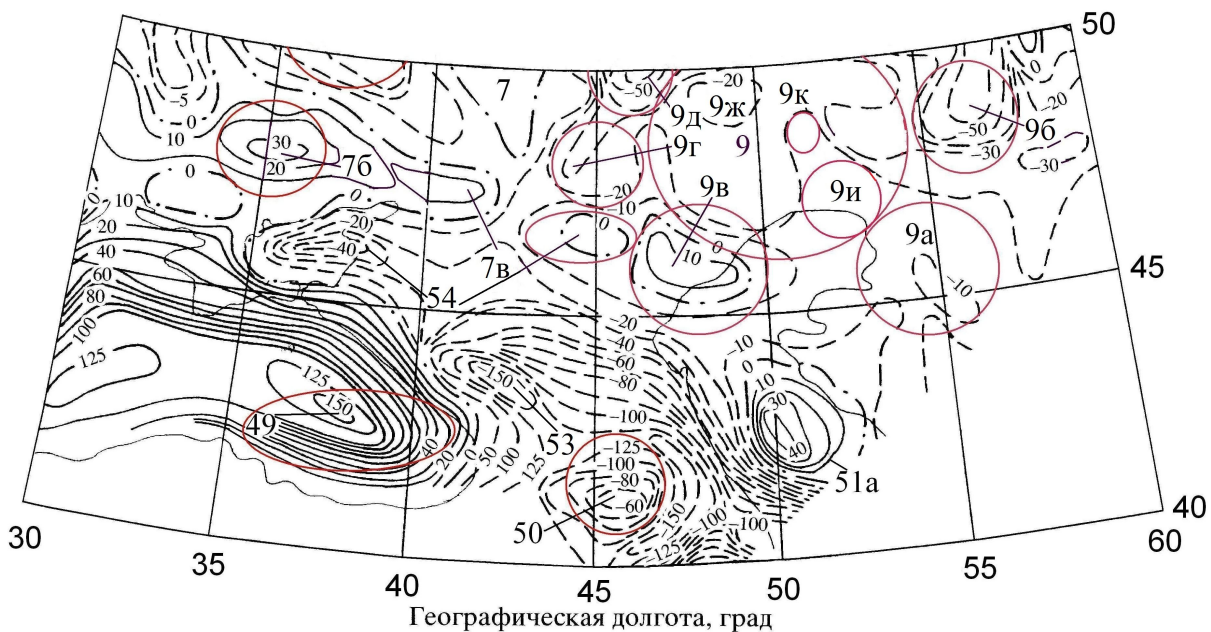


Рис. 3. Фрагмент карты гравитационного поля, построенной по данным различных искусственных спутников Земли [6]. Квази-концентрические (эллипсоидные) аномалии гравитационного поля, выделенные на территории юга европейской части Российской Федерации: 7 – Скифская, 7б – Запорожская, 7в – Шахтинская, 9 – Прикаспийская, 9а – Эмбенская, 9б – Уралтауская, 9в – Астраханская, 9г – Волго-Донская, 9д – Пугачевская, 9ж – Малоузенская, 9и – Северо-Каспийская, 9к – Индерские, 49 – Восточно-Черноморская, 50 – Дзирульская, 51а – Дербентская, 53 – Ставропольские, 54 – Вало-Карпинские



Остансуцкий, Ащисайский) и ближе к 54°E восточной долготы, наблюдается перепад значений ускорения силы тяжести в редукции Буге от -60 до -30 мГал (см. рис. 3).

При этом хорошо известно, что значительная часть месторождений нефти и газа расположена в зонах дробления горных пород в пределах глубинных тектонических разломов земной коры (рис. 4) [7], которые отлично проявляются в значениях магнитного поля [8] (рис. 5), которое может быть использовано при расчетах вероятности ( $P_3$ ) нефтегазовой перспективности исследуемой территории.

Известно [2, 9, 10, 11], что в результате постоянной дегазации мантии Земли вдоль этих глубинных тектонических разломов должны поступать газотермальные и гидротермальные потоки геофлюидов различного химического состава (и в том числе природных углеводородов  $CH_4$ ), которые, проникая через сеть мелких приповерхностных разломов и трещин, могут постепенно формировать месторождения углеводородов на территории Прикаспийской и Скифской концентрических морфоструктур.

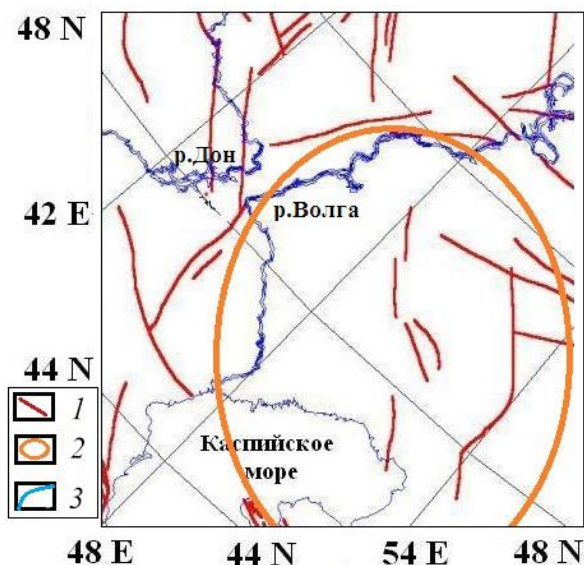


Рис. 4. Фрагмент карты активных тектонических разломов Северной Евразии для территории Прикаспийской концентрической морфоструктуры [7]. Условные обозначения: 1 – тектонические разломы, 2 – условная граница Прикаспийской концентрической морфоструктуры, 3 – русло рек Волга и Дон и береговая линия Каспийского моря (цвет онлайн)

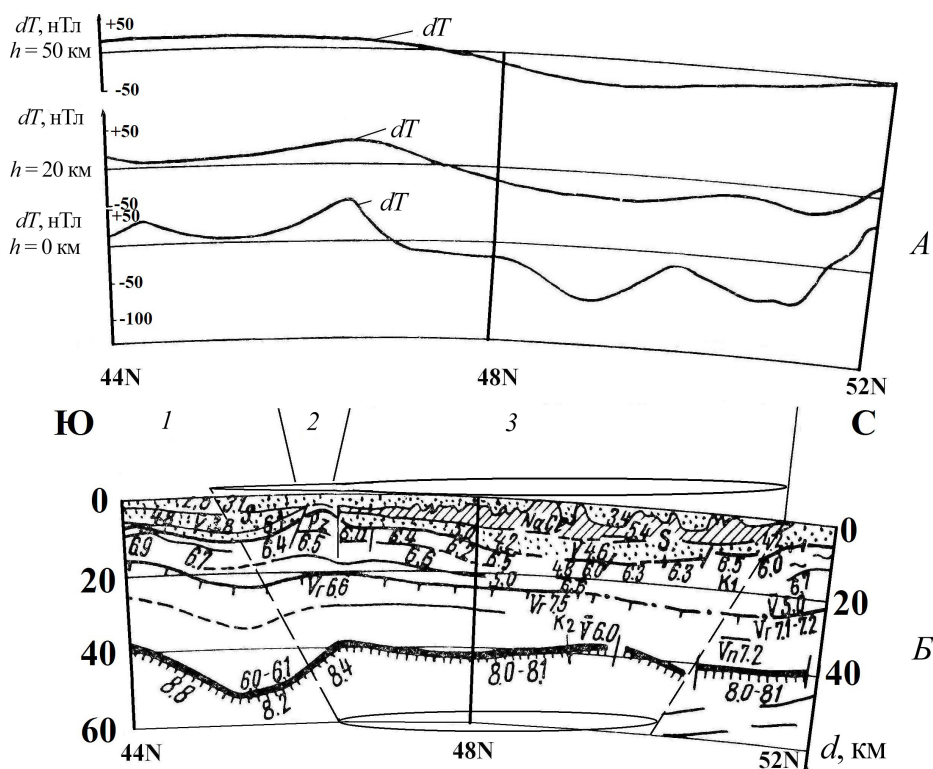


Рис. 5. Фрагмент глубинного геолого-геофизического разреза земной коры через территорию Прикаспийской концентрической морфоструктуры по субмеридиональному профилю глубинного сейсмического зондирования вдоль 54°E CA 64–20 [12]: А – профили аэромагнитных и наземных измерений модуля ( $dT$ ) аномального магнитного поля на трех разных высотных уровнях ( $h = 0$  км, 20 км, 50 км) над территорией восточного борта Прикаспийской концентрической морфоструктуры; Б – сейсмический разрез земной коры и верхней мантии до глубины  $d = 60$  км: 1 – Северо-Устьуртская впадина, 2 – Эмбенское поднятие – бортовая зона морфоструктуры, 3 – Южно-Каспийская концентрическая морфоструктура



Известно также, что часто месторождения нефти и газа расположены в зонах повышенного теплового потока [13], который может быть использован при расчетах вероятности нефтегазовой перспективности исследуемой территории. В связи с этим были проанализированы данные теплового потока для выявления корреляционной связи между его значениями и место-

расположением концентрических морфоструктур центрального типа (см. рис. 2). Информация о наличии определенной корреляционной связи в расположении максимумов теплового потока и локальных концентрических морфоструктур на территории Скифской (7) и Прикаспийской (9) крупных концентрических морфоструктур представлена на карте теплового потока [13] (рис. 6).

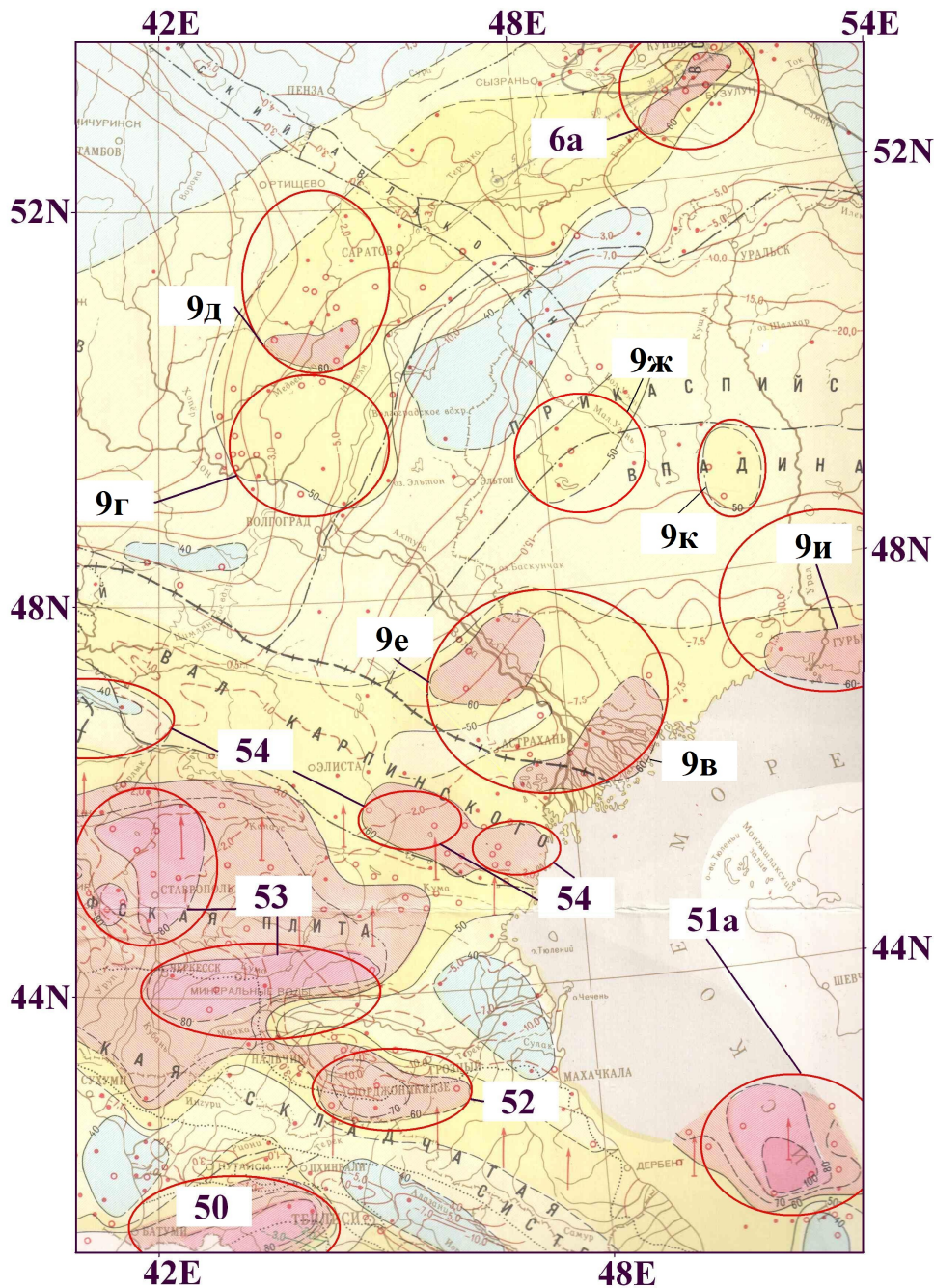


Рис. 6. Фрагмент карты аномалий теплового потока  $Q$  ( $\text{мВт}/\text{м}^2$ ) [13]. Почти концентрические (эллипсовидные) аномалии теплового потока, выделенные на территории юго-востока европейской части Российской Федерации, коррелирующие с морфоструктурами центрального типа: 6а – Южно-Бузулукская, 9в – Астраханская, 9г – Волго-Донская, 9д – Пугачевская, 9е – Нижневолжская, 9ж – Малоузенская, 9и – Северо-Каспийская, 9к – Индерская, 50 – Дзирульская, 51а – Дербентская, 52 – Грозненская, 53 – Ставропольские, 54 – Вало-Карпинские (цвет онлайн)



Иными словами, гравитационные [6], аэромагнитные [8], теплового потока [13] аномалии подтверждаются данными дистанционного зондирования Земли из космоса [4], которые позволяют выделить перспективные зоны для поисков месторождений углеводородов в пределах концентрических морфоструктур разных диаметральных размеров.

Проанализированные выше достаточно крупные концентрические морфоструктуры, по данным [4], связаны с мантийными плюмами [14], сформировавшимися в докембрийские периоды тектонической эволюции Земли [15], когда преобладали субвертикальные тектонические процессы. В результате на поверхности докембрийского фундамента земной коры произошло образование нуклеаров – крупных концентрических морфоструктур [4] и связанных с ними концентрических неоднородностей, наблюдаемых в рельефе различных слоев земной коры.

Суммарную вероятность ( $P_c$ ) нефтегазовой перспективности исследуемых регионов будем определять на основании значений взаимной корреляционной связи различных полей (гравитационного, магнитного, теплового потока) между собой и с расположением зон месторождений полезных ископаемых.

По имеющимся измеренным данным можно наблюдать достаточно хорошую корреляцию ( $\rho$ ) региональных магнитных ( $dT$ ) аномалий и региональных гравитационных ( $dg$ ) аномалий (рис. 7) [6], особенно в районе (восточная долгота  $36^\circ E$ ) расположения центральной части Скифской концентрической морфоструктуры (7), отличающейся достаточно высокими значениями аномального магнитного поля ( $dT > 2200$  нТл), полученными при наземных измерениях и высокими отрицательными значениями ( $dg > 40$  от. ед.) гравитационного поля.

Кривая отрицательных значений взаимной корреляционной функции магнитного и гравитационного полей  $\rho(dT, dg)$  позволяет хорошо выделить зоны (3 и 5), связанные со Скифской (7) и Прикаспийской (9) концентрическими морфоструктурами (см. рис. 7). В первом приближении на этом широтном профиле можно опробовать методику выделения регионов, перспективных для поисков новых месторождений углеводородов. Для этого необходимо рассчитать вероятность ( $P_1$ ) определения месторасположения зон концентрических морфоструктур путем сравнения координат расчетных отрицательных значений взаимной корреляционной функции магнитного и гравитационного полей  $\rho(dT, dg)$

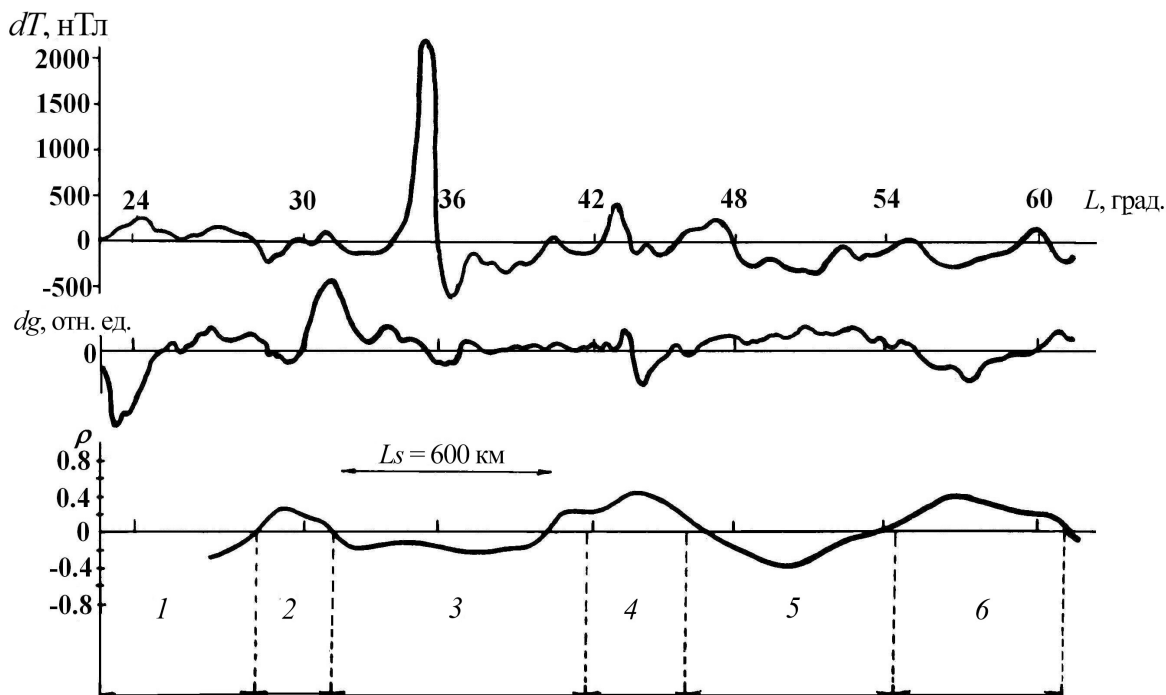


Рис. 7. Графики измеренного аномального магнитного поля ( $dT$ ) и гравитационного поля ( $dg$ ), их функции взаимной корреляционной зависимости ( $\rho$ ), полученные вдоль регионального широтного профиля по  $52^\circ N$ , пересекающего территорию центральной части Скифской (7) и Прикаспийской (9) концентрических морфоструктур.  $L_s = 600$  км – интервал скольжения, в пределах которого производился расчет функции взаимной корреляционной зависимости магнитного и гравитационного полей. Пересекаемые профилем регионы: 1 – Украинский щит; 2 – Днепрово-Донецкая впадина; 3 – территория центральной части Скифской (7) концентрической морфологической структуры (8в); 4 – Рязано-Саратовский прогиб; 5 – территория Прикаспийской (9) концентрической морфологической структуры; 6 – Уральская геосинклиналь



и координат реального расположения всех встречаемых вдоль этого профиля концентрических морфоструктур:

$$P_1 = (m/n) \cdot 100\% = [\rho(dT, dg)/n] \cdot 100\%, \quad (2)$$

где  $m$  – количество случаев совпадения координат аномальных (отрицательных) значений взаимной корреляционной функции магнитного и гравитационного полей  $\rho(dT, dg)$ , с координатами расположения концентрических морфоструктур;  $n$  – общее количество крупных концентрических морфоструктур на этом профиле по данным дешифрирования космических снимков. В результате произведенных расчетов вероятность определения концентрических морфоструктур по данным магнитного и гравитационного полей составила 89%, если не принимать во внимание небольшие ( $\pi \cdot dx$ ) концентрические структуры, которые могли быть пропущены при интервале дискретизации ( $dx$ ) региональных аномалий магнитного и гравитационного полей равного одному градусу ( $dx = 70$  км).

Можно видеть (рис. 2, 3, 6) и другие спутниковые магнитные, гравитационные, теплового потока региональные аномалии, по результатам измерения которых также можно опробовать методику вычисления суммарной вероятности ( $P_c$ ) определения координат месторасположения перспективных нефтегазоносных зон в пределах крупных концентрических морфоструктур (рис. 8).

Наблюдается корреляция аномалий гравитационного поля (3) и аномалий теплового потока (1) над целым рядом концентрических морфоструктур (8, 8в, 7а, 7б, 56, 49), расположенных на территории Русской платформы (см. рис. 8). Прямая корреляция локальных аномалий гравитационного поля с аномалиями теплового потока достаточно очевидна. Это может быть связано с тем, что меньшая плотность горных пород увеличивает природную дегазацию углеводородов из мантии в приповерхностные слои осадочного слоя земной коры [9, 10]. Наблюдается обратная корреляция (см. рис. 8) региональных магнитных аномалий (2) с полем теплового потока (1), особенно на участке профиля от 40 до 50°N. Это, по-видимому, связано с тем, что повышенный тепловой поток (и дегазация) ослабляет магнитные свойства горных пород.

При использовании трех независимых массивов региональных аномалий магнитного, гравитационного и теплового потоков полей была использована более сложная методика, чем при расчете по формуле (2). На первом этапе использования этой более усложненной методики все приведенные на графиках (см. рис. 8) значения геофизических полей ( $dT$ ,  $dg$ ,  $Q$ ) были нормированы на средние по всей длине профиля значения

этих полей:

$$dT_n = (dT_i/dT_s); \quad dg_n = (dg_i/dg_s); \quad Q_n = (Q_i/Q_s). \quad (3)$$

Затем все значения нормированных геофизических полей ( $dT_n$ ,  $dg_n$ ,  $Q_n$ ) были приведены

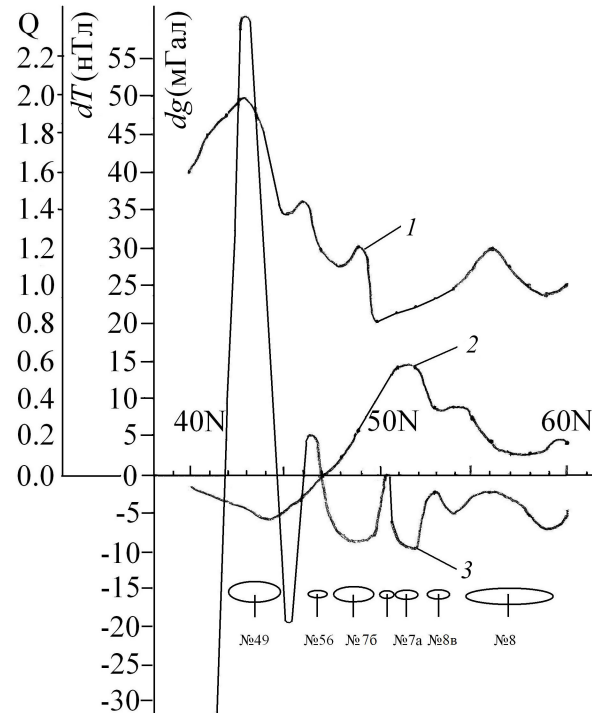


Рис. 8. Графики измеренных значений  $Q$  – теплового потока (1),  $dT$  – магнитных (2),  $dg$  – гравитационных (3) аномалий, построенных вдоль регионального меридионального профиля по долготе 38°E. Для удобства сравнения кривых значения теплового потока  $Q$  представлены на графике в относительных единицах измерения. Чтобы соответствовать абсолютным значениям теплового потока в системе СИ ( $\text{мВт/м}^2$ ) они должны быть умножены на коэффициент 41.8. Эллипсами показано расположение на поверхности Земли концентрических морфоструктур, связанных с мантийными плюмами: 49 – Восточно-Черноморская; 56 – Крымо-Азовские; 76 – Днепровско-Донецкая; 7а – Курская; 8в – Орловская; 8 – Московская

к единому уровню отсчета. На следующем этапе по значениям нормированных геофизических полей ( $dT_n$ ,  $dg_n$ ,  $Q_n$ ) были вычислены взаимные корреляционные функции этих полей  $\rho(dT, dg)$ ,  $\rho(dT, Q)$ ,  $\rho(dg, Q)$  (рис. 9).

Графики вычисленных значений взаимных корреляционных функций магнитного и гравитационного полей  $\rho(dT, dg)$ , магнитного поля и теплового потока  $\rho(dT, Q)$ , гравитационного поля и теплового потока  $\rho(dg, Q)$  представлены на рис. 9. Из приведенных на рис. 9 значений графиков взаимных корреляционных функций магнитного и гравитационного полей  $\rho(dT, dg)$ , магнитного поля и теплового потока



$\rho(dT, Q)$ , гравитационного поля и теплового потока  $\rho(dg, Q)$  можно рассчитать суммарную ( $P_c$ ) и отдельные вероятности ( $P_1, P_2, P_3$ ) определения месторасположения нефте- и газоперспективных зон в пределах концентрических морфоструктур путем математического анализа расчетных значений взаимных корреляционных функций:

$$P_1 = [\rho(dT, dg)/n] = 89\%, \quad (4)$$

$$P_2 = [\rho(dT, Q)/n] = 76\%, \quad (5)$$

$$P_3 = [\rho(dg, Q)/n] = 84\%, \quad (6)$$

где  $n$  – общее количество крупных концентрических морфоструктур на этом профиле, в пределах которых идут процессы дегазации мантии и накопления углеводородов.

Тогда суммарная вероятность ( $P_c$ ) определения месторасположения концентрических морфоструктур может быть рассчитана по формуле

$$P_c = [P_1 + P_2 + P_3]/3 = 83\%. \quad (7)$$

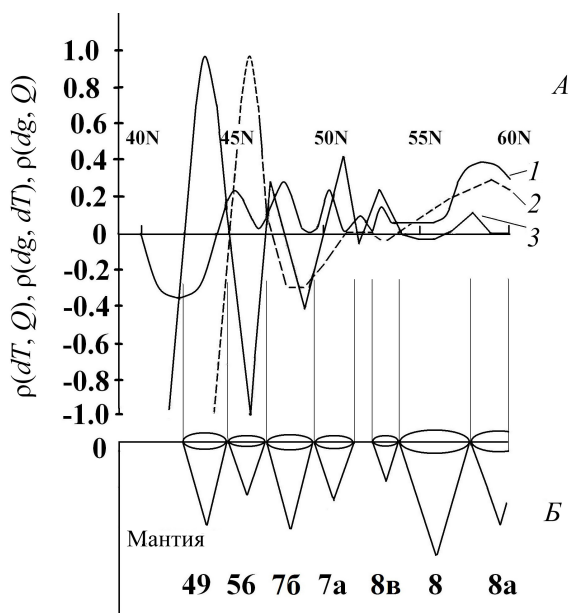


Рис. 9. Графики вычисленных значений взаимных корреляционных функций (А): 1 – магнитного и гравитационного полей  $\rho(dT, dg)$ ; 2 – магнитного поля и теплового потока  $\rho(dT, Q)$ ; 3 – гравитационного поля и теплового потока  $\rho(dg, Q)$ . Схематический разрез мантии с изображением расположения древних мантийных плюмов (Б), формирующих концентрические морфоструктуры, в зонах расположения которых происходят дегазация мантии и накопление углеводородов в литологических и структурных ловушках осадочного слоя: 49 – Восточно-Черноморская; 56 – Крымо-Азовские; 76 – Днепровско-Донецкая; 7а – Курская; 8в – Орловская; 8 – Московская, 8а – Тверская

Кроме корреляционных зависимостей магнитных, гравитационных аномалий, связанных со Скифской (7) концентрической морфологической структурой (см. рис. 8, 9) и ее «дочерними» Московской (8), Тверской (8а), Нижегородской

(8б), Орловской (8в) концентрическими структурами, представленными на рис. 2, 3, 6, наблюдаются также корреляционные зависимости магнитных, гравитационных, теплового потока аномалий, связанных с Прикаспийской (9) (см. рис. 7) концентрической структурой, наблюдаются и другие концентрические структуры меньших размеров (9а – Эмбенская, 9б – Уралтауская, 9в – Астраханская, 9г – Волго-Донская, 9д – Пугачевская, 9е – Нижневолжская, 9ж – Малоузенская, 9и – Северо-Каспийская, 9к – Индерская, 50 – Дзирульская; 54 – Ростовско-Элистинские, 56 – Крымо-Азовские). Корреляция концентрических географических неоднородностей рельефа земной поверхности и магнитных и гравитационных аномалий свидетельствует о том, что эти концентрические географические неоднородности имеют глубокие корни в литосфере.

### Полученные результаты

Из данных, приведенных на рис. 6, видно, что повышенные значения теплового потока ( $Q > 50$  мВт/м<sup>2</sup>) наблюдаются в окраинных (бортовых) зонах территории, занимаемой Прикаспийской концентрической морфоструктурой (9). В северо-западной части Прикаспийской концентрической морфоструктуры (9) выделяется полукольцевая бортовая зона повышенных значений теплового потока Приволжской моноклинали (9д – 9е – 6а). Высокими значениями ( $Q > 60$  мВт/м<sup>2</sup>) выделены локальные эллипсоидные зоны аномалий теплового потока (Астраханской-9в, Пугачевской-9д, Нижневолжской-9е, Южно-Бузулукской-6а, Северо-Каспийской-9и), расположенных в пределах Прикаспийской концентрической структуры (9). В центральной части Прикаспийской концентрической морфоструктуры расположены локальные аномалии теплового потока (9ж – Малоузенская, 9к – Индерская), связанные с так называемыми «трубами» дегазации мантии этого региона, подобно Уренгойскому месторождению, описанному в [2].

Так, например, на схеме изолиний глубины поверхности Мохоровичича Прикаспийской концентрической морфоструктуры (9) и ее обрамления [16] (рис. 10) по наземным геолого-геофизическим данным подтверждено расположение большей части «дочерних» концентрических морфоструктур меньшего размера, выделенных по спутниковым данным (данные дешифрирования космических снимков поверхности Земли, данные гравитационного поля, данные теплового потока).

На основании проведенных расчетов можно сказать, что новые месторождения на территории Прикаспийской и Скифской концентрических морфоструктур, по-видимому, могут быть связаны с «дочерними» локальными концентрическими структурами (см. рис. 2) с высоким тепловым

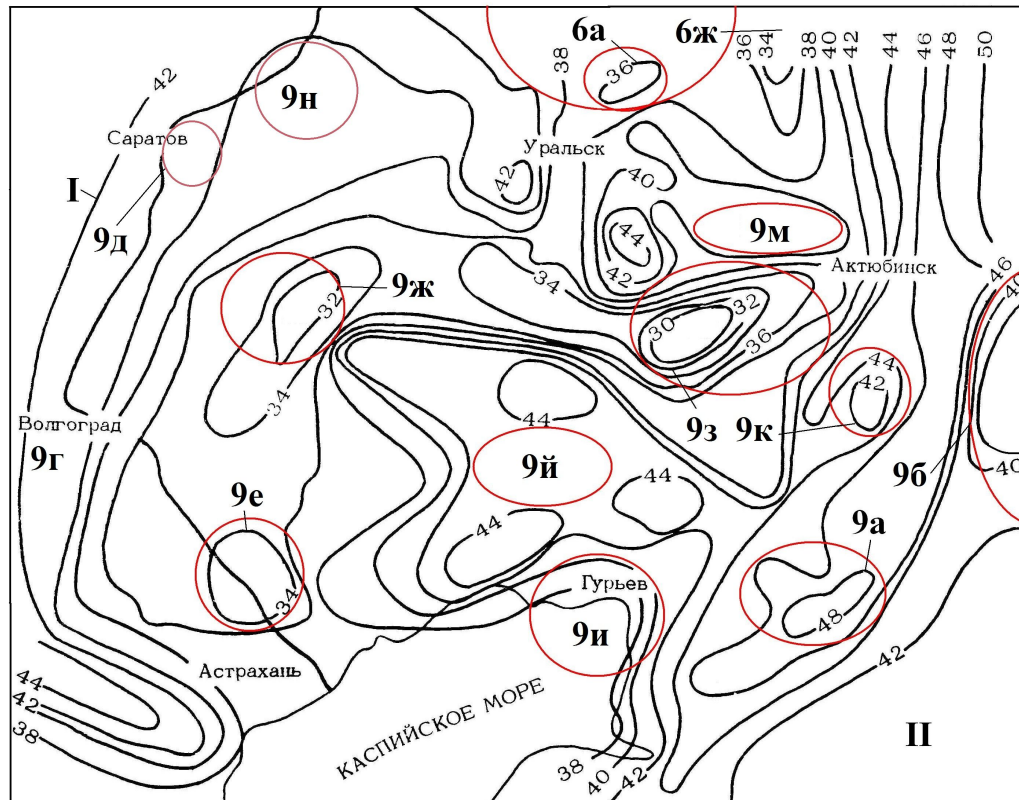


Рис. 10. Схема изолиний глубины (км) поверхности Мохоровичича на территории Прикаспийской впадины и прилегающих районов [17]. Пограничные районы Прикаспийской концентрической впадины: I – северо-западная граница Прикаспийской впадины, II – Северный Уступ – юго-восточная граница Прикаспийской концентрической впадины; пограничные полукольцевые прогибы и локальные прогибы Прикаспийской концентрической впадины: 9г–9д – зона Приволжской моноклинали, 9б – Уралтауский; выступы на поверхности Мохоровичича: 6а – Южно-Бузулукский, 6б – Бельский, 9а – Эмбенский, 9г – Волго-Донская, 9д – Пугачевская, 9е – Нижневолжский, 9ж – Малоузенский, 9з – Хобдинский, 9и – Северо-Каспийский, 9й – Индерский, 9к – Шубаркудукский, 9м – Илекский, 9н – Жигулевская

потоком (см. рис. 6) над ними, сформированных концентрическими мантийными выступами на поверхности Мохоровичича, из которых к земной поверхности по тектоническим разломам поступают газотермальные и гидротермальные потоки (см. рис. 10).

### Выводы

1. По данным нескольких геофизических полей, на территории Прикаспийской и Скифской крупных концентрических морфоструктур выделены локальные концентрические нефтегазоперспективные морфоструктуры, связанные с бортовыми зонами этих впадин.

2. Предложена вероятностная методика для оценки нефтегазовой перспективности территорий на основе оценки корреляционных зависимостей гравитационного и магнитного полей и теплового потока.

3. Основным геофизическим параметром, определяющим бортовой тип нефтегазоносного бассейна (НГБ) или тип НГБ с равномерным распределением месторождений углеводородов является распределение теплового потока, изме-

ренного на земной поверхности или по данным аэросъемки.

### Библиографический список

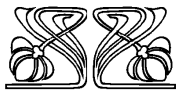
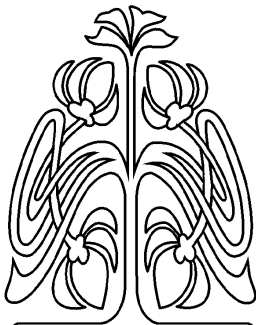
1. Колосова Л. Н. Карта месторождений полезных ископаемых территории СССР. Масштаб 1 : 10000000. Москва : ГУГК, 1982. 1 л.
2. Валяев Б. М. Углеводородная дегазация Земли, геотектоника и происхождение нефти и газа (признание и развитие идей П. Н. Кропоткина) // Дегазация Земли и генезис нефтегазовых месторождений: материалы Всероссийской конференции, посвященной 100-летию со дня рождения П. Н. Кропоткина. Москва : ГЕОС, 2011. С. 10–32.
3. Бронштейн И. Н., Семендяев К. А. Справочник по математике для инженеров. Москва : Государственное издательство технико-теоретической литературы, 1954. 608 с.
4. Карта морфоструктур центрального типа территории СССР. Масштаб 1 : 10000000: объяснительная записка / редактор В. В. Соловьев. Москва : Аэрогеология, 1981. 44 с.
5. Серкерев С. А. Гравиразведка и магниторазведка. Москва : Недра, 1985. 200 с.



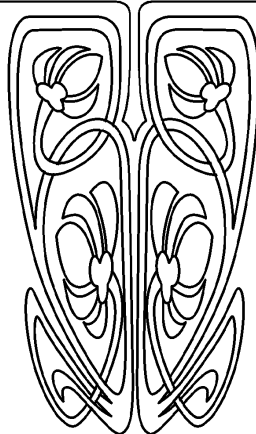
6. Gravity anomaly map of Asia. Scale 1 : 9000000. Published by the Aeronautical Chart and Information Center. US Air Force, 1971. 4 p.
7. Карта активных тектонических разломов Северной Евразии. Москва : Издательство ГИН, 2002. 1 л. URL: <http://www.scgis.ru/Russian/cp1251/rfbr/data.html> (дата обращения: 20.07.2022).
8. Крутиховская З. А., Пашкевич И. К., Силина И. М. Магнитная модель и структура земной коры Украинского щита. Киев : Наукова Думка, 1982. 215 с.
9. Сейфуль-Мулюков Р. Б. Нефть и газ. Глубинная природа и ее прикладное значение. Москва : Торус Пресс, 2012. 216 с.
10. Сывороткин В. Л. Глубинная дегазация Земли и глобальные катастрофы. Москва : Геоинформцентр, 2002. 250 с.
11. Тимурзиев А. И. Современное состояние методологии и практики поисков нефти // Дегазация Земли и генезис нефтегазовых месторождений: материалы Всероссийской конференции, посвященной 100-летию со дня рождения П. Н. Кропоткина. Москва : ГЕОС, 2011. С. 456–477.
12. Вольвовский И. С., Вольвовский Б. С. Разрезы земной коры территории СССР по данным глубинного сейсмического зондирования. Москва : Советское радио, 1975. 267 с.
13. Смирнов Я. Б. Карта теплового потока территории СССР и сопредельных территорий. Масштаб 1 : 10000000. Москва : ГУГК, 1980. 4 л.
14. Гаврилов С. В. Проникновение теплового диапира в континентальную литосферную плиту из неьютоновской верхней мантии // Физика Земли. 1994. № 7–8. С. 18–26.
15. Кац Я. Г., Полетаев А. И., Сулиди-Кондратьев Е. Д. Кольцевые структуры лика планеты. Москва : Знание, 1989. 48 с.
16. Чакабаев С. Е., Кирюхин Л. Г., Капустин И. Н. Тектоника и нефтегазоносность Прикаспийской впадины // Геология нефти и газа. 1978. № 7. С. 30–36.
17. Кунин Н. Я. Геологическое строение и нефтегазоносность Прикаспийской впадины: строение земной коры // Геологическое строение и перспективы нефтегазоносности солянокупольных бассейнов материков по геофизическим данным. Москва : Недра, 1977. С. 90–95.

Поступила в редакцию 11.09.2022; одобрена после рецензирования 20.10.2022; принята к публикации 16.12.2022  
The article was submitted 11.09.2022; approved after reviewing 20.10.2022; accepted for publication 16.12.2022





**ПОДПИСКА**



### **Подписка на печатную версию**

Журнал выходит 4 раза в год  
Подписной индекс издания 36010  
Цена свободная

Оформить подписку на печатную версию можно  
в Интернет-каталоге  
ГК «Урал-Пресс» ([ural-press.ru](http://ural-press.ru))

Электронная версия журнала находится  
в открытом доступе ([geo.sgu.ru](http://geo.sgu.ru))

### **Адрес Издательства**

#### **Саратовского университета (редакции):**

410012, Саратов, Астраханская, 83

**Тел.:** +7(845-2) 51-29-94, 51-45-49, 52-26-89

**Факс:** +7(845-2) 27-85-29

**E-mail:** [publ@sgu.ru](mailto:publ@sgu.ru), [izdat@sgu.ru](mailto:izdat@sgu.ru)

### **Адрес редколлегии серии:**

410012, Саратов, Астраханская, 83,  
СГУ имени Н. Г. Чернышевского,  
Географический факультет

**Тел.:** +7(845-2) 21-07-95

**Факс:** +7(845-2) 51-54-49

**E-mail:** [farik26@yandex.ru](mailto:farik26@yandex.ru)

**Website:** <http://geo.sgu.ru/>



ISSN 1819-7663 (Print). ISSN 2542-1921 (Online)  
Известия Саратовского университета. Новая серия.  
Серия: Науки о Земле. 2023. Том 23, выпуск 1

## ИЗВЕСТИЯ САРАТОВСКОГО УНИВЕРСИТЕТА Новая серия

- Серия: Акмеология образования. Психология развития
- Серия: История. Международные отношения
- Серия: Математика. Механика. Информатика
- Серия: Науки о Земле**
- Серия: Социология. Политология
- Серия: Физика
- Серия: Филология. Журналистика
- Серия: Философия. Психология. Педагогика
- Серия: Химия. Биология. Экология
- Серия: Экономика. Управление. Право

