

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

ГЕОЛОГИЯ И РАЗВЕДКА

НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

№ 1
ЯНВАРЬ—ФЕВРАЛЬ

ИЗДАЕТСЯ С ЯНВАРЯ 1958 г.

Выходит 6 раз в год



ФГБОУ ВО «РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ СЕРГО ОРДЖОНИКИДЗЕ»

МОСКВА-2019

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ СТАТЕЙ, ПУБЛИКУЕМЫХ В ЖУРНАЛЕ

В журнале «Известия высших учебных заведений. Геология и разведка». (Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Geologiya i razvedka — [Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration]), включенным решением ВАК в «Перечень российских рецензируемых научных журналов, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук», публикуются статьи, представляющие научный и практический интерес. Статьи, направляемые в редакцию, должны удовлетворять следующим требованиям:

1. Статья должна быть представлена в двух экземплярах, изложена в сжатой форме строгим научным языком, тщательно отредактирована. К рукописи должны быть приложены аннотация на русском языке (100–250 слов) с ключевыми словами и резюме на английском языке с ключевыми словами (100–250 слов).

2. Рукопись должна быть напечатана на компьютере кеглем 12 на белой писчей бумаге, через два интервала с полями шириной 2,5 см, без помарок и вставок. Объем статьи не должен превышать 12 страниц. В рукописи необходимо сделать ссылки на поля на таблицы и рисунки.

3. В рукописи указываются: УДК, название статьи, инициалы и фамилия автора(ов), место работы и адрес на русском и английском языках, электронные адреса авторов. Рукопись подписывается всеми авторами. В конце статьи автор сообщает адрес для переписки (лучше домашний), телефон.

4. В формулах греческие буквы обводятся красным карандашом. Прописные и строчные буквы, имеющие одинаковое написание, нужно помечать двумя черточками простым карандашом: прописные (заглавные) снизу, строчные — сверху. Трудноразличимые в рукописном обозначении буквы и знаки обязательно пояснять на полях.

5. Размерность всех величин, принятых в статье, должна соответствовать Международной системе единиц измерений (СИ).

6. Таблицы должны иметь тематические заголовки, не быть громоздкими, не дублировать текст и рисунки. Таблицы печатаются на отдельных листах и прилагаются в конце статьи.

7. Рисунки должны быть четко выполнены в черно-белом и цветном виде в компьютерных графических редакторах (CorelDRAW, Photoshop и др.). Компьютерные рисунки необходимо предоставлять в виде изображений и в исходном виде, доступном для правки (т. е. с сохранением отдельных слоёв — кривых, надписей). На обороте каждого рисунка указываются его номер, фамилия автора и название статьи. Подписи к рисункам прилагаются на отдельном листе. Микрофотографии должны иметь контрастное изображение.

8. Список литературы должен содержать все цитируемые и упоминаемые в тексте работы в алфавитном порядке, оформленный по ГОСТ (в начале — на русском языке, затем — в романском алфавите). При ссылке на изобретение необходимо указать автора, название, год, номер и страницу «Бюллетеня изобретений». Ссылки на работы, находящиеся в печати, не допускаются. Библиографическое описание дается в следующем порядке: фамилия и инициалы автора, полное название работы (для сборника статей — его название), место издания, название издательства, год издания, число страниц (для неперiodических изданий) или интервал страниц (для сборников), для периодических изданий — название журнала, год выпуска, том, интервал страниц. При ссылке на литературный источник в тексте приводится порядковый номер работы в квадратных скобках, например, Н.М. Страхов [3]. Далее отдельным блоком приводится список литературы (References) в романском алфавите, повторяющий список литературы к русскоязычной части, оформленный по стандартам Scopus. Если в списке есть ссылки на иностранные публикации, они полностью повторяются в списке, готовящемся в романском алфавите. Пример оформления журнальной статьи: Author A.A., Author B.B., Author C.C. (транслитерация) Title of article (перевод на английский). Title of Journal (транслитерация и перевод на английский), 2005, vol. 10, no. 2, pp. 49–53. (In Russ). Более подробно см. О.В. Кириллова «Редакционная подготовка научных журналов по международным стандартам». http://academy.raspp.ru/files/documents/1_2_kirillovometrec_2012.pdf Транслитерация приводится по системе BSI (см. <http://ru.translit.net/?account=bsi>).

9. Никакие сокращения слов, имен, названий, как правило, не допускаются. Разрешаются лишь общепринятые сокращения названий мер, физических, химических и математических величин, терминов и т. д.

10. Необходимо представлять статью, набранную в Microsoft Word, на CD-диске или флеш-карте или отправить её по электронной почте.

11. Статьи, не отвечающие перечисленным требованиям, возвращаются авторам для переделки. Датой поступления считается день получения редакцией окончательного текста.

12. Дополнения в корректуре против рукописи не допускаются.

13. Редакция журнала оставляет за собой право производить сокращение и редакционные изменения рукописей.

14. Оттиски авторам не высылаются.

15. В редакцию необходимо предоставлять официальное письмо-рекомендацию организации за подписью руководителя, заверенной печатью.

16. Плата за публикацию статей не взимается.

Главный редактор А.В. Лопатин (академик РАН)

Заместители главного редактора

В.В. Куликов, Ю.А. Попов

Члены редакционного совета

Председатель В.А. Косьянов

*А.И. Варламов, П.Н. Гусев, Е.А. Козловский, Пейчен Ли, В.И. Лисов, Г.А. Машковцев,
И.Г. Спиридонов, К.Н. Трубецкой (академик РАН)*

Члены редколлегии

*О.С. Брюховецкий, В.К. Гаранин, С.Д. Ганова, П.А. Игнатов, М.Н. Игнатьева, В.Ю. Керимов, Н.Б. Кузнецов,
В.С. Куликов, М.Г. Леонов, А.В. Малков, А.В. Маслов (член-корр. РАН), Ю.Б. Марин, (член-корр. РАН),
З.М. Назарова, А.А. Никитин, Г.Н. Пилипенко, П.Ю. Плечов, В.С. Попов, А.В. Самсонов (член-корр. РАН),
К.Ж. Семинский, Н.В. Соловьев, А.В. Толстов, В.Ю. Фридовский, Л.Е. Чесалов, Е.Н. Щурова (отв. секретарь),
Mohammed Amro (Германия), Shaopeng Huang (США, Китай), Massimo Verdoya (Италия)*

Сдано в набор 14.01.2019.
Бумага офсет. № 1
Уч.-изд. л. 10,50.

Подписано в печать 15.02.2019.
Гарнитура Таймс
Тираж 200 экз.

Формат 60×90/8.
Усл. печ. л. 10,50.
Заказ

Адрес редакции: 117997, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, 23, МГРИ—РГГРУ. Тел.: 8(495)433-61-66.
E-mail: journal-geology@mgri-rggru.ru, shchurovaen@mgri-rggru.ru. Internet: <http://geology.mgri-rggru.ru/>

© Оформление «Изв. вузов. Геология и разведка», 2019

ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ
ГЕОЛОГИЯ И РАЗВЕДКА
2019, № 1

СОДЕРЖАНИЕ

Геология

- Мироненко А.А., Комаров В.Н. Новые находки ринхоли-
тов в средней и верхней юре Крыма 5
- Грановский А.Г., Грановская Н.В. Тектоническое строе-
ние зоны сочленения Восточно-Европейской платформы
и Скифской плиты (территория Ростовской области) . . . 16
- Паперный М.Л. Новый вид макрофитных водорослей из
пермских отложений северо-востока Самарской области
(с. Русский Байтуган) 24

Минералогия, петрография, литология

- Петроченков Д.А. Минеральный состав и геммологические
характеристики ювелирно-поделочных аммонитов Респуб-
лики Адыгея 32

Полезные ископаемые, методика их поисков и разведки

- Зинчук Н.Н., Коптиль В.И. Особенности алмазов из ким-
берлитов Мирнинского поля (Сибирская платформа) . . . 39
- Соломон М.В., Гончаренко О.П., Московский Г.А.
Калийные и калийно-магниево-соли погожской ритмопач-
ки западной части северного внешнего бортового обрамле-
ния Прикаспийской впадины: литологические особенности
и условия формирования 51

Геофизические методы поисков и разведки

- Антонов Ю.В., Антонова И.Ю. Сейсмогравитационные
пульсации на Евразийском континенте 60

За витриной музея

- Лопатин А.В., Аверьянов А.О. О находках динозавров
в Крыму 67

Критика и библиография

- Комаров В.Н. О монографии «Раннетриасовые амфибии Вос-
точной Европы: эволюция доминантных групп и особеннос-
ти смены сообществ» 72

Краткие сообщения

- Экомасов С.П. К вопросу о синхронной работе импульсных
источников сейсмических волн 75
- Абрамов В.Ю., Боровский Б.В., Ершов Г.Е. Гидрогеоло-
гические и геоэкологические риски при прогнозировании
качества питьевых подземных вод при эксплуатации (изуче-
ние, анализ, прогноз, управление) 80

PROCEEDINGS OF HIGHER EDUCATIONAL ESTABLISHMENTS
GEOLOGY AND EXPLORATION
2019, N 1

CONTENTS

Geology

- Mironenko A.A., Komarov V.N. New findings of rhyncholites in the Middle and Upper Jurassic of Crimea 5
- Granovsky A.G., Granovskaya N.V. Tectonic structure of the zone of conjugation of the Eastern European platform and the Scythian plate (territory of the Rostov region) 16
- Papernyi M.L. A new type of macrophytic algae from Permian deposits of the North-East of the Samara region (locality Russky Baitugan) 24

Mineralogy, petrography, lithology

- Petrochenkov D.A. Mineral composition and gemological characteristics of jewelry-ornamental ammonites of the Republic of Adygea 32

Useful minerals, methods of their prospecting and exploration

- Zinchuk N.N., Koptil V.I. Specific features of kimberlites of Mirny field (Siberian platform) 39
- Solomon M.V., Goncharenko O.P., Moscovsky G.A. Potash and potassium-magnesium salt of Pogojskoe rhythmic member of the western part of the northern outer side of the

- boarder of the Caspian depression: lithological features and formation conditions 51

Geophysical methods of prospecting and exploration

- Antonov Yu.V., Antonova I.Yu. Seismic-induced gravitational pulsations on the Eurasian continent 60

The museum's showcase

- Lopatin A.V., Averianov A.O. On the findings of dinosaurs in the Crimea 67

Critics and bibliography

- Komarov V.N. About the monograph «Early Triassic amphibians of Eastern Europe: evolution of dominant groups and peculiarities of communities change» 72

Brief reports

- Ekomasov S.P. To the synchronous work of pulsed sources of seismic waves 75
- Abramov V.Yu., Borevsky B.V., Ershov G.E. Hydrogeological and geoecological risks while forecasting the quality of underground drinking water during its use (study, analysis, forecasting, management) 80

ГЕОЛОГИЯ

УДК 564.5:551.762(477.75)

НОВЫЕ НАХОДКИ РИНХОЛИТОВ В СРЕДНЕЙ И ВЕРХНЕЙ ЮРЕ КРЫМА

А.А. МИРОНЕНКО¹, В.Н. КОМАРОВ²

¹Геологический институт РАН
7, Пыжевский пер., г. Москва 119017, Россия
e-mail: paleometro@gmail.com

²ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе»
23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия
e-mail: komarovmgri@mail.ru

До настоящего времени находки ринхолитов в юрских отложениях Крыма были крайне малочисленными. В оксфорде и киммеридже Крыма ринхолиты до сих пор не встречались, несмотря на то, что в Западной Европе они весьма многочисленны в средне- и верхнеюрских морских отложениях. Нами описаны пять новых находок ринхолитов из Крыма из интервала отложений от верхнего келловоя до киммериджа включительно. Они относятся к пяти различным видам (в том числе трём новым) рода *Gonatocheilus* Till, 1907, представители которого ранее не были известны с территории Крыма. Обсуждается систематика ринхолитов и показывается, что согласно пункту 33 Международного кодекса зоологической номенклатуры род *Palaeotheutis* Till, 1906 не является валидным и вместо него следует использовать род *Gonatocheilus* Till, 1907.

К л ю ч е в ы е с л о в а: ринхолиты; аммоноидеи; наутилоидеи; *Gonatocheilus*; юра; оксфорд; киммеридж; Крым.

DOI:10.32454/0016-7762-2019-1-5-15

NEW FINDINGS OF RHYNCHOLITES IN THE MIDDLE
AND UPPER JURASSIC OF CRIMEA

A.A. MIRONENKO¹, V.N. KOMAROV²

¹Geological Institute of the Russian Academy of Sciences
7, Pyzhevsky street, Moscow 19017, Russia
e-mail: paleometro@gmail.com

²Russian State Geological Prospecting University
23, Miklouho-Maklay's street, Moscow 117997, Russia
e-mail: komarovmgri@mail.ru

Until now the findings of rhyncholites from the Jurassic marine sediments of Crimea were very scarce. In both the Oxfordian and Kimmeridgian of Crimea, rhyncholites were never found despite the fact that in Western and Central Europe they are very numerous in Middle and Upper Jurassic marine sediments. We have described five new findings of rhyncholites from Crimea whose age ranges from the Upper Callovian to the Kimmeridgian. They belong to the five different species (including three new ones) of the genus *Gonatocheilus* Till, 1907, which was never previously described in Crimea. We also discuss the taxonomy of rhyncholites and argue that the genus *Palaeotheutis* Till, 1906 is unavailable according to article 33 of International code of zoological nomenclature and the genus *Gonatocheilus* Till, 1907 should be used instead of it.

K e y w o r d s: rhyncholites; Ammonoidea; Nautiloidea; *Gonatocheilus*; Jurassic; Oxfordian; Kimmeridgian; Crimea.

Ринхолиты — кальцитовые кончики верхних челюстей головоногих моллюсков (наутилоидей и аммоноидей) встречаются в мезозойских и кайнозойских морских отложениях. Иногда вместе с ними можно найти кальцитовые элементы нижней челюсти — конхоринхи, однако их находки всегда существенно более редкие. Поскольку в абсолютном большинстве случаев ринхолиты находят отдельно от раковин и органических челюстей цефалопод, для их описания создана специальная паратаксономическая классификация.

Принадлежность ринхолитов к тем или иным головоногим моллюскам долгое время была предметом дискуссий [4, 8, 9, 23, 27]. Разные авторы предполагали, что ринхолиты могли принадлежать наутилоидеям, аммоноидеям или колеоидеям (белемнитам, кальмарам и т. д.). В настоящее время последний вариант не рассматривается исследователями, поскольку ни у кого из колеоидей — ни у современных, ни у вымерших, не известны кальцитовые элементы в челюстном аппарате.

Часть ринхолитов, несомненно, принадлежали наутилоидеям, точнее представителям отряда Nautilida. Об этом говорит присутствие ринхолитов и конхоринхов в челюстях современных наутилусов и их сходство с некоторыми ископаемыми формами [16, 26], находки ринхолитов в кайнозойских (палеоген) отложениях [4, 11], сформированных после вымирания аммоноидей, а также уникальные находки ринхолитов в раковинах ископаемых наутилид [16, 26]. К элементам наутилоидных челюстей относят такие роды ринхолитов, как *Asutobeccus*, *Rhyncholites*, *Rhyncholithes*, *Scaptorrhynchus* и *Nautilorhynchus* [16, 17].

На рубеже 70–80-х гг. XX в. ринхолиты и конхоринхи были найдены в хорошо сохранившихся челюстях аммоноидей [15, 19]. Это дало основание для выделения нового типа аммоноидных челюстей — ринхаптихового [28]. Находки челюстей ринхаптихового типа долгое время географически ограничивались лишь Дальним Востоком (Сахалин) и Японией, а стратиграфически — верхним мелом (с турона по кампан). Лишь недавно нижние челюсти аммоноидей с кальцитовыми элементами (конхоринхами) были обнаружены в средней юре Дагестана [20]. Следовательно, ринхолиты, принадлежащие аммоноидеям, могут встречаться в мезозойских отложениях как минимум начиная со средней юры. В настоящее время челюсти ринхаптихового типа известны только у представителей подотрядов *Lytoceratina* и *Philoceratina* [28]. Имеющиеся в литературе упоминания о ринхолитоподобных структурах у аптских аммонитов *Asopesceras trautscholdi* [14] несомненно, ошибочны и связаны с неполной сохранностью наружного слоя аптихов этих аммонитов [25].

К кальцитовым элементам верхних челюстей аммоноидей относят следующие роды ринхолитов:

Rhynchoteuthis, *Palaeoteuthis*, *Gonatocheilus*, *Leptocheilus* [21–23]. Однако стоит учитывать, что связь этих ринхолитов с аммоноидеями базируется на косвенных данных, таких как отсутствие находок наутилид в слоях, содержащих эти ринхолиты и на их внешних отличиях от ринхолитов наутилид, но не на находках ринхолитов в жилых камерах аммоноидей. Возможно, что к аммоноидным ринхолитам также относятся *Akidocheilus* и *Hadrocheilus*. Анализ линий нарастания барремско-аптских образцов этих ринхолитов [5, 6] свидетельствует об относительно небольшой (менее года) продолжительности жизни (или по крайней мере роста) ринхолитоносителей, в то время как современные наутилиды живут более 20 лет [13] и продолжительность жизни меловых наутилид, вероятно, была примерно такой же, как у современных. Правда, сравнительный анализ линий нарастания современных и ископаемых ринхолитов пока не проводился.

На территории Крыма ринхолиты изучаются уже более 100 лет, начиная с работ А. Тилля [31]. Из этого региона описано множество видов и несколько родов ринхолитов [4]. Основная масса крымских ринхолитов происходит из меловых отложений. За исключением единственной находки в средней юре (келловее) Крыма [2], ринхолиты юрского возраста до сих пор из Крыма известны не были. Описаны находки ринхолитов из нерасчленённых титонско-берриасских слоев [4], однако точный возраст их не установлен. А. Тиль [31] описал два вида ринхолитов (*Hadrocheilus theodosie* и *Akidocheilus tauricus*) из Крыма, указав их возраст как титонский, однако эта датировка представляется сомнительной [1]. Кроме того, к настоящему времени найдено несколько десятков ринхолитов, относящихся к этим двум видам [4], и все они происходят не из титонских, а из нижнемеловых отложений. В отложениях оксфорда и кимериджа в Крыму ринхолиты до сих пор не встречались. Из Крыма никогда не описывались находки ринхолитов таких родов, как *Palaeoteuthis* и *Gonatocheilus*, широко распространённых в верхней юре Европы. Присутствие рода *Gonatocheilus* в Крыму однажды было упомянуто [29], но ни одного образца не было ни изображено, ни описано.

Стоит отметить, что отложения оксфорда и кимериджа в Крыму редко оказывались объектами палеонтологического изучения. Однако в последние годы ситуация стала меняться в лучшую сторону. Активные поиски на разрезах верхней юры принесли результат. В течение последних лет специалистами-палеонтологами и любителями палеонтологии было найдено несколько экземпляров ринхолитов в верхнекелловейско-нижнеоксфордских, оксфордских и оксфордско-кимериджских отложениях Крыма, описанных в данной публикации.

Материал

Ринхолиты, послужившие материалом для исследования, были встречены в трёх различных местонахождениях (рис. 1).

Два экземпляра (5607/1 и 5607/2) найдены Т.А. Артёмовой у пос. Солнечная Долина, недалеко от бухты Чалка. Ринхолиты обнаружены при промывке чёрных глин оксфордско-кимериджского возраста. Совместно с ними были найдены многочисленные небольшие раковины гастропод и кораллы.

Два экземпляра (5607/3 и 5607/4) обнаружены В.И. Пологовым в окрестностях г. Балаклава, у мыса Айя в районе пляжа Инжир. Ринхолиты собраны на размытой поверхности оксфордских пород совместно с фрагментами аммонитов, аптихами *Laevaptychus*, принадлежавшими аммонитам семейства *Aspidoceratidae* и другими многочисленными находками: белемнитами, иглами и пластинками морских ежей, сегментами морских лилий и т. д.

Один ринхолит (5607/5) найден А.П. Ипполитовым на хребте Биюк-Янышар в окрестностях г. Коктебель, в осыпи верхнего келловей—нижнего оксфорда.

Все измерения ринхолитов приводятся в миллиметрах (рис. 2). Не совсем полная сохранность некоторых образцов делает часть измерений при-

близительными, в этом случае размеры и отношения приведены в скобках. Исследованный материал хранится в Палеонтологическом институте РАН под № 5607.

Замечания по систематике ринхолитов

Фактически существует две точки зрения на паратаксономическую систематику ринхолитов. Одни авторы описывают экземпляры, отличающиеся от известных отдельными признаками как новые виды, а набором признаков — как новые роды [4, 7, 10]. Другие авторы, напротив, признают лишь несколько родов и видов ринхолитов и большую часть паратаксонов сводят в синонимику [22, 24]. Обе точки зрения имеют свои плюсы и минусы. Сторонники ограниченного числа паратаксонов отмечают, что различия, наблюдающиеся на единичных экземплярах, могут быть связаны с тафономическими изменениями или индивидуальной изменчивостью [24, 26]. Сторонники детальной систематики ринхолитов указывают, что описание необычных образцов, как новых видов, позволяет в дальнейшем оперировать этими паратаксонами и подробно изучать эволюцию ринхолитов [4, 10]. Даже авторы, в целом согласные с необходимостью сокращения числа используемых паратаксонов ринхолитов, отмечают, что их слишком значительное сокращение приводит к ситуации, когда



Рис. 1. Места находок ринхолитов: 1–3 — местонахождения: 1 — (пос. Солнечная Долина, недалеко от бухты Чалка) — 44.873293, 35.143702; 2 — (окрестности г. Балаклава, у мыса Айя в районе пляжа Инжир) — 44.873293, 35.143702; 3 — (хребт Биюк-Янышар в окрестностях г. Коктебель) — 44.976, 35.302

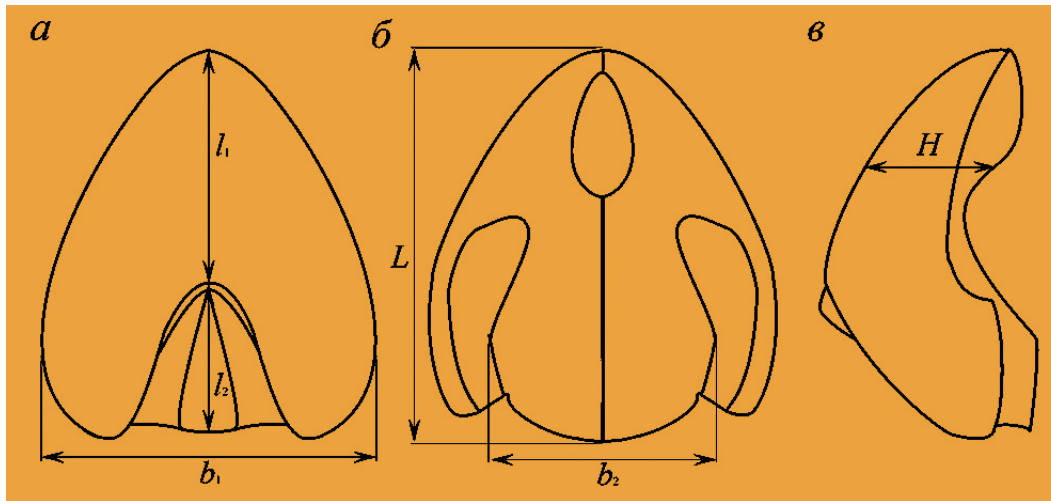


Рис. 2. Схема измерений ринхолита: *a* — вид сверху, *б* — вид снизу, *в* — вид сбоку. *L* — длина ринхолита от конца носика до заднего края рукоятки; *l*₁ — длина капюшона от конца носика до его заднего края по срединной линии; *l*₂ — длина рукоятки от границы с капюшоном до заднего края по срединной линии; *b*₁ — ширина капюшона — расстояние между двумя наиболее удалёнными боковыми точками капюшона, лежащими на одной прямой, перпендикулярной срединной линии ринхолита; *b*₂ — ширина рукоятки — расстояние между двумя наиболее удалёнными боковыми точками рукоятки, лежащими на одной прямой, перпендикулярной срединной линии ринхолита; *H* — высота капюшона — наибольшее расстояние между вершиной капюшона и его нижней поверхностью по прямой, перпендикулярной срединной линии ринхолита

игнорируются явные отличия между образцами и при которой один и тот же род ринхолитов оказывается распространённым, например, с плинсбаха по маастрихт, что представляется неудобным и нелогичным [18]. При этом все исследователи признают, что систематика ринхолитов является искусственной и ни виды, ни роды ринхолитов не могут полностью соответствовать видам или родам «ринхолитоносителей» [10].

Авторы данной публикации принимают точку зрения, высказанную в [10, с. 113]: «Даже единичные экземпляры с отклонениями в строении, которые очень трудно отнести к патологическим явлениям, целесообразно выделять в особые виды. Включая их в уже известные, хотя бы и близкие виды, мы навеки теряем эти формы в огромном потоке информации». Описание ринхолитов, явно отличающихся от известных форм в качестве отдельных паратаксонов, позволяет в дальнейшем работать с ними легче, чем если бы они были описаны как экземпляры известных видов. Кроме того, различия в строении ринхолитов, несомненно, связаны со спецификой пищевого поведения головоногих моллюсков, обладавших такими ринхолитами, и эти различия важно отмечать для палеоэкологических реконструкций образа жизни «ринхолитоносителей».

В 1995 г. В. Риграф и К. Шмитт-Риграф [24] провели масштабную ревизию ринхолитов и свели в синонимику 32 рода этих ископаемых, оставив лишь четыре валидных рода: *Leptocheilus* Till, 1907, *Palaeoteuthis* d'Orbigny, 1849, *Palaeotheutis* Till, 1906 и *Rhynchoteuthis* d'Orbigny, 1847. Хотя названия родов *Palaeoteuthis* d'Orbigny, 1849 и *Palaeotheutis*

Till, 1906 различаются положением одной буквы (h), данные авторы считают оба рода валидными. При этом *Gonatocheilus* Till, 1907, по их мнению, является младшим объективным синонимом рода *Palaeotheutis* Till, 1906. Однако А. Тилль в своей публикации [30] не выделяет *Palaeotheutis* как новый род и не указывает типовой вид, более того он неоднократно называет ранее описанный д'Орбиньи род именно «*Palaeotheutis*», в то время как оригинальное название, данное д'Орбиньи («*Palaeoteuthis*»), в его работе не встречается. Не вызывает сомнений, что в данном случае речь шла не о намерении описать новый род с отличающимся на одну буквы названием, а лишь о неправильном последующем написании ранее описанного д'Орбиньи рода *Palaeoteuthis*. Таким образом, согласно пункту 33 Международного кодекса зоологической номенклатуры *Palaeotheutis* Till, 1906 не является валидным и вместо него следует использовать род *Gonatocheilus* Till, 1907.

Описание ринхолитов Род *Gonatocheilus* Till, 1907

Типовой вид — *Gonatocheilus brunneri* (Ooster, 1857). Средняя юра—нижний мел (апт) Европы.

Диагноз. Ринхолит с отчётливо вогнутой, почти коленообразной нижней стороной. Под передней частью капюшона имеется зубовидный выступ.

Видовой состав. Порядка 15 видов. Байосс—нижний валанжин Европы и Северной Атлантики.

С р а в н е н и е. От наиболее близкого рода *Palaeoteuthis* d'Orbigny отличается наличием зубовидного выступа на нижней стороне капюшона.

***Gonatocheilus pusillus* sp. nov.**

Н а з в а н и е вида от *pusillus* лат. — маленький.

Г о л о т и п — ПИН № 5607/1; Юго-Восточный Крым, окрестности г. Судак, у пос. Солнечная Долина, недалеко от бухты Чалка. Верхняя юра, оксфорд/кимеридж.

О п и с а н и е (рис. 3). Ринхолит очень маленький, довольно высокий. Капюшон стреловидных очертаний с шириной, совсем немного превышающей длину. Левый боковой край капюшона почти прямой, слабо волнообразно изгибающийся. Правый боковой край на большем протяжении почти прямой и лишь вблизи носика немного изогнутый. Угол, образуемый боковыми краями, составляет около 85° . Режущий край в целом спрямлённый, равномерно слабо волнообразно изогнутый. Срединный кант капюшона в продольном направлении равномерно очень слабо выпуклый. В поперечном сечении кант сглаженно-треугольный. Боковые стороны капюшона едва заметно выпуклые, пологопадающие. Задний край капюшона довольно узко и глубоко вырезан, его вершина находится немного выше вершины рукоятки. Крылья небольшие, не широкие, по всей видимости, треугольной формы, не полностью перекрывающие боковые стороны рукоятки. Кончики крыльев не сохранились. Носик острый. На дорсальной поверхности капюшона наблюдаются отчётливые линии роста.

Рукоятка трапецевидной формы, практически такой же длины, как и капюшон, немного уже последнего. Рукоятка постепенно расширяется, достигая наибольшей ширины недалеко от заднего края. Переход капюшона в рукоятку резкий, коленобразный. Угол между последними на продольном сечении дорсальной стороны ринхолита составляет около 110° . Верхняя сторона рукоятки плоская, быстро расширяется к заднему краю. В осевой части задней половины рукоятки развита очень узкая, мелкая, слабо расширяющаяся бороздка. Боковые канты рукоятки, насколько позволяет судить сохранность, довольно слабо отграничены, невысокие, уплощённые, узкие, слабо расширяющиеся в направлении заднего края. Они не перекрываются крыльями капюшона. Боковые стороны рукоятки довольно крупные, уплощённые, крутопадающие. Задний край рукоятки равномерно выпуклый, с небольшим треугольным вырезом в осевой части. Как на верхней, так и на нижней поверхностях рукоятки наблюдаются отчётливые линии роста.

В пределах средней части вентральной стороны капюшона развит отчётливый крупный (на его долю приходится примерно треть длины капюшона), хорошо отграниченный как спереди, так и сзади зубовидный выступ. От последнего в сторону заднего края профиль нижней стороны ринхолита становится равномерно сильновогнутым. Продольный валик очень отчётливо отграниченный, широкий, быстро расширяющийся, прямой, прослеживается только под капюшоном. Срединное ребро не наблюдается. Поверхность ринхолита по краям от продольного валика уплощённая. Поперечное сечение нижней стороны рукоятки вогнутое.

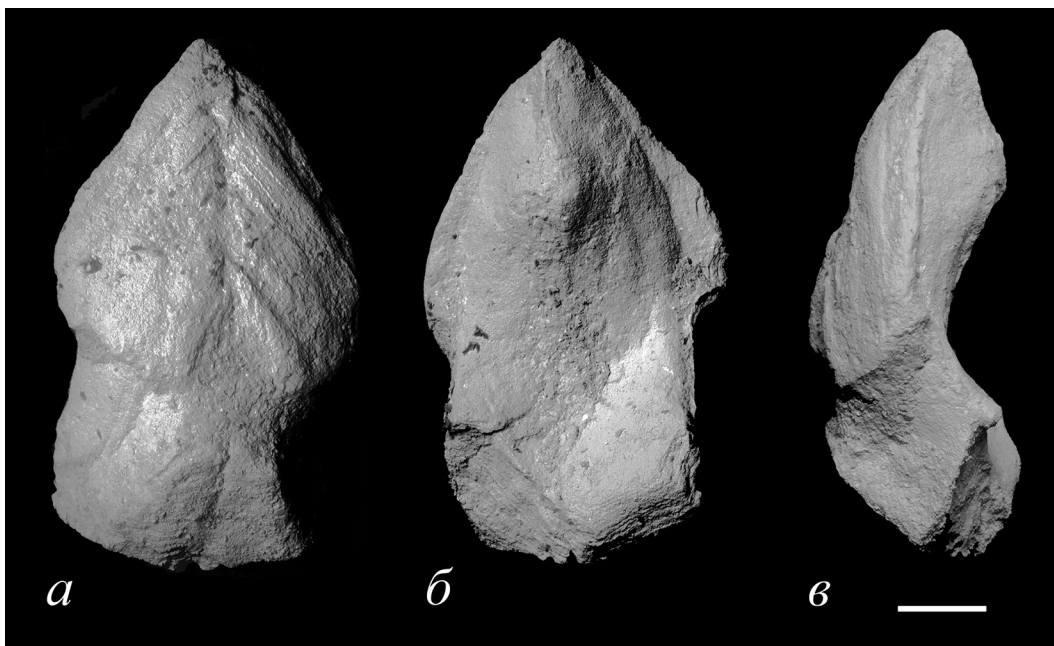


Рис. 3. *Gonatocheilus pusillus* sp. nov., образец № 5607/1, голотип, длина масштабного отрезка 250 мкм

Размеры

Экз. №	L	l_1	l_2	b_1	b_2	H	l_1/l_2	b_1/b_2	H/b_1	H/L
5607/1	1,75	0,85	0,9	1,01	0,86	0,49	0,94	1,17	0,49	0,28

С р а в н е н и е. Данный экземпляр обнаруживает наибольшее сходство с *G. larus* (Faure-Biguet, 1819), от которого отличается меньшей высотой, менее резким переходом капюшона в рукоятку и значительно более крупным зубовидным выступом. От *G. artemovae* sp. nov. отличается другими пропорциями длины капюшона и рукоятки, отсутствием борозды рукоятки и более узким валиком.

З а м е ч а н и я. Малый размер ринхолита может свидетельствовать о его принадлежности ювенильной особи.

М а т е р и а л. Голотип (сборы Т.А. Артёмовой 2017 г.).

Gonatocheilus artemovae sp. nov.

Н а з в а н и е вида в честь Т.А. Артёмовой, автора находки голотипа.

Г о л о т и п — Палеонтологический институт РАН, № 5607/2; Юго-Восточный Крым, окрестности г. Судак, у пос. Солнечная Долина, недалеко от бухты Чалка. Верхняя юра, оксфорд/кимеридж.

О п и с а н и е (рис. 4). Ринхолит маленький, округленно-пятиугольной формы, довольно высокий. Капюшон стреловидного очертания с шириной, превосходящей длину. Боковые края капюшона прямые. Угол, образуемый ими, составляет 67°. Режущий край равномерно изогнутый. Срединный кант капюшона в продольном направлении прямой и лишь вблизи носика немного изогнутый. В поперечном сечении кант сглаженно-треугольный. Боковые стороны капюшона уплощён-

ные, пологопадающие. Задний край капюшона широко и глубоко вырезан, его вершина находится немного выше вершины рукоятки. Крылья крупные, широкие, треугольной формы, частично перекрывающие боковые стороны рукоятки. Задние части крыльев отчётливо изогнутые. Носик острый.

Рукоятка трапецевидной формы, короче капюшона и уже последнего. Рукоятка очень слабо расширяется, достигая максимальной ширины недалеко от заднего края. Переход капюшона в рукоятку резкий, коленообразный. Угол между последними на продольном сечении дорсальной стороны ринхолита составляет около 127°. Борозда рукоятки очень отчётливая, глубокая, быстро расширяющаяся в сторону заднего края, с уплощённо-округлым поперечным сечением крыльев отчётливо изогнутые. Начинается борозда от самой вершины рукоятки. Боковые канты рукоятки, насколько позволяет судить сохранность, довольно хорошо отграничены, невысокие, уплощённые, узкие, слабо расширяющиеся в направлении заднего края. Боковые стороны рукоятки довольно крупные, уплощённые, крутопадающие. Задний край рукоятки с очень отчётливым, широким и довольно глубоким плавным вырезом. Заднебоковые части рукоятки закруглённые.

Примерно в средней части вентральной стороны капюшона развит отчётливый крупный (на его долю приходится примерно треть длины капюшона), хорошо отграниченный как спереди, так и сзади зубовидный выступ. От последнего в сторону заднего края профиль нижней стороны ринхолита становится равномерно сильновогнутым. Продольный валик отчётливо отграниченный, неширокий (на его долю приходится треть от наибольшей ширины капюшона), практически не расширяющийся на большей своей длине в сто-

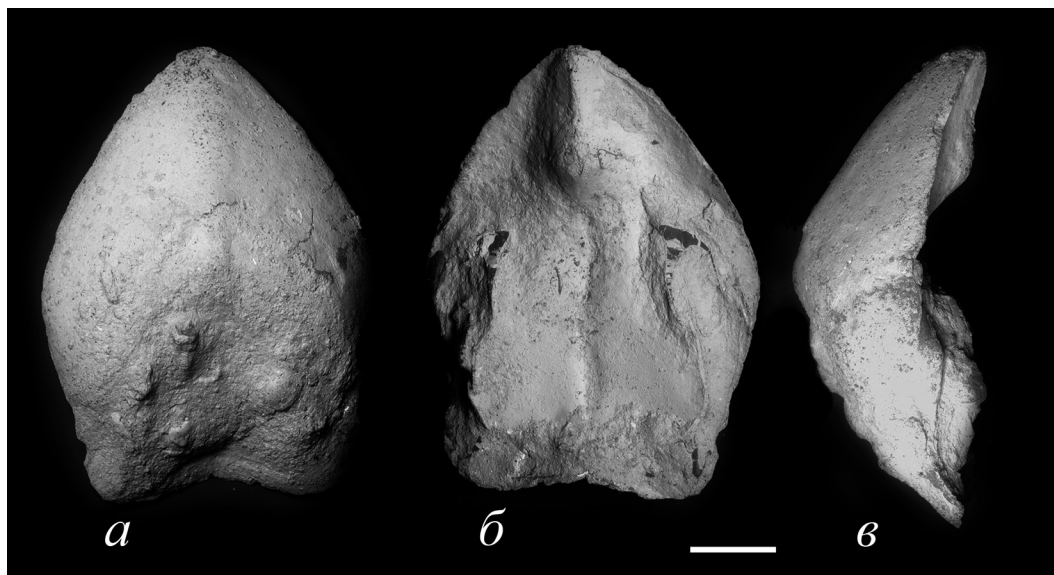


Рис. 4. *Gonatocheilus artemovae* sp. nov., образец № 5607/2, голотип, длина масштабного отрезка 1 мм

рону заднего края, прямой, прослеживается только под капюшоном. Срединное ребро не наблюдается. Поверхность ринхолита по краям от продольного валика уплощённая. Поперечное сечение нижней стороны рукоятки вогнутое.

В осевой части нижней поверхности рукоятки (за исключением её самой задней части) развита мелкая, узкая, чётко отграниченная бороздка.

Р а з м е р ы

Экз. №	L	l_1	l_2	b_1	b_2	H	l_1/l_2	b_1/b_2	H/b_1	H/L
5607/2	6,5	3,9	2,6	4,8	3,9	1,8	1,5	1,23	0,38	0,28

С р а в н е н и е. Данный экземпляр обнаруживает наибольшее сходство с *G. larus* (Faure-Biguet, 1819), от которого отличается относительно менее длинным капюшоном, меньшей высотой, менее резким переходом капюшона в рукоятку и значительно более крупным зубовидным выступом.

М а т е р и а л. Голотип (сборы Т.А. Артёмовой, 2017 г.).

Gonatocheilus oxfordiensis (Till, 1906)

Rhyncholites oxfordiensis: Till 1906, с. 141, табл. V, фиг. 47—49.

Г о л о т и п — экземпляр, изображённый в [29], с. 141, табл. V, фиг. 47—49.

О п и с а н и е (рис. 5). Ринхолит небольшой, округленно-пятиугольной формы, высокий. Капюшон стреловидных очертаний с шириной, превосходящей длину. Боковые края капюшона прямые и лишь около носика незначительно изогнутые. Угол, образуемый ими, достигает 70°. Режущий край спрямлённый. Срединный кант капюшона в продольном сечении прямой и лишь вблизи носика и заднего края изогнутый. В поперечном направлении кант сглаженно-треугольный. Боковые стороны капюшона уплощённые, пологопадающие. Задний край капюшона довольно узко и глубоко вырезан. Вершина капю-

шона, оттянутая в небольшую складочку, находится немного выше вершины рукоятки. Крылья крупные, широкие, треугольной формы, полностью перекрывающие боковые стороны и канты рукоятки. Задние части крыльев отчётливо изогнутые. Угол между внутренними краями крыльев соответствует углу между кантами верхней стороны рукоятки. Носик закруглённый.

Рукоятка трапецевидной формы, короче и уже капюшона. Рукоятка постепенно расширяется, достигая максимальной ширины у заднего края. Переход капюшона в рукоятку резкий, коленообразный. Угол между последними на продольном сечении верхней стороны ринхолита составляет около 100°. Верхняя сторона рукоятки плоская, быстро расширяется в сторону заднего края. Боковые канты рукоятки, насколько позволяет судить степень сохранности, относительно слабо отграничены, невысокие, уплощённые, узкие, сравнительно быстро расширяющиеся к заднему краю. Боковые стороны рукоятки довольно крупные, слабо выпуклые, крутопадающие. Задний край рукоятки, по всей видимости, был с небольшим язычкообразным выступом в осевой части. Заднебоковые области рукоятки закруглённые. На верхней и боковой поверхностях рукоятки наблюдаются неотчётливые линии роста.

В пределах передней части вентральной стороны капюшона наблюдается отчётливый крупный, хорошо отграниченный сзади зубовидный выступ. От последнего в направлении заднего края профиль вентральной стороны капюшона становится равномерно сильновогнутым. Продольный валик довольно отчётливо отграниченный, неширокий (на его долю приходится немного менее 1/3 от максимальной ширины капюшона), почти не расширяющийся, прямой, развит только под передней половиной капюшона. Под рукояткой имеется ясно отграниченная, узкая, сужающаяся бороздка, немного не доходящая до заднего края.



Рис. 5. *Gonatocheilus oxfordiensis* (Till, 1906), образец № 5607/3, длина масштабного отрезка 2 мм

Поверхность ринхолита по краям от продольного валика уплощённая, а по краям от вентральной бороздки рукоятки вогнутая.

Р а з м е р ы

Экз. №	L	l ₁	l ₂	b ₁	b ₂	H	l ₁ /l ₂	b ₁ /b ₂	H/b ₁	H/L
5607/3	9,5	6,1	3,4	(7,7)	5,4	3,6	1,8	(1,43)	(0,47)	0,38

С р а в н е н и е. Данный экземпляр обнаруживает большее сходство с *G. praeoxfordiensis* sp. nov., от которого отличается относительно большей длиной капюшона, относительно менее широкой рукояткой, немного более крупным зубовидным выступом и наличием бороздки на нижней поверхности рукоятки.

М а т е р и а л. 1 экз. (сборы В.И. Пологова, 2017 г.).

Gonatocheilus larus (Faure-Biguet, 1819)

Gonatocheilus planus: Комаров, 2004, с. 82.

Г о л о т и п — экземпляр, изображённый в [12], с. 58, табл. 1, фиг. 2. Неотип хранится в Национальном музее естественной истории в Париже, коллекция д'Орбиньи, № 3153.

О п и с а н и е (рис. 6). Ринхолит небольшой, довольно высокий. Капюшон стреловидной формы с длиной, превышающей ширину. Боковые края капюшона прямые и лишь вблизи носика немного изогнутые. Угол, образуемый боковыми краями, составляет 57°. Режущий край прямой. Срединный кант капюшона в продольном направлении прямой и лишь вблизи носика изогнутый. В поперечном сечении кант округлённо-треугольный. Осевая часть верхней поверхности передней части капюшона явственно оттянута в виде крупной, довольно хорошо отграниченной от осталь-

ной поверхности, расширяющейся в сторону носика округлой в поперечном сечении складочки. Боковые стороны капюшона плоские, пологопадающие. Задний край капюшона узко и глубоко вырезан, его вершина находится совсем немного выше вершины рукоятки. Крылья крупные, широкие, треугольной формы, несколько позволяет судить сохранность, не полностью перекрывающие боковые стороны и канты рукоятки. Задние части крыльев изогнутые. Носик острый.

Рукоятка трапецевидной формы, уже и значительно короче капюшона. Рукоятка постепенно расширяется, достигая наибольшей ширины вблизи заднего края. Переход капюшона в рукоятку довольно резкий, коленообразный. Угол между ними на продольном сечении дорсальной стороны ринхолита составляет 104°. Верхняя сторона рукоятки быстро расширяется к заднему краю. Борозда рукоятки очень отчётливая, глубокая, довольно быстро расширяющаяся в сторону заднего края, с округлённо-треугольным поперечным сечением. Насколько позволяет судить сохранность, начинается борозда примерно от середины рукоятки. Боковые канты рукоятки, по всей видимости, слабо отграничены, невысокие, уплощённые, узкие, довольно быстро расширяющиеся в направлении заднего края. Боковые стороны рукоятки довольно крупные, крутопадающие. Задний край рукоятки с отчётливым плавным широким, но неглубоким вырезом. Заднебоковые части рукоятки закруглённые.

В пределах средней части вентральной стороны капюшона развит довольно отчётливый крупный хорошо отграниченный сзади зубовидный выступ. От последнего в направлении заднего края профиль нижней стороны капюшона становится рав-

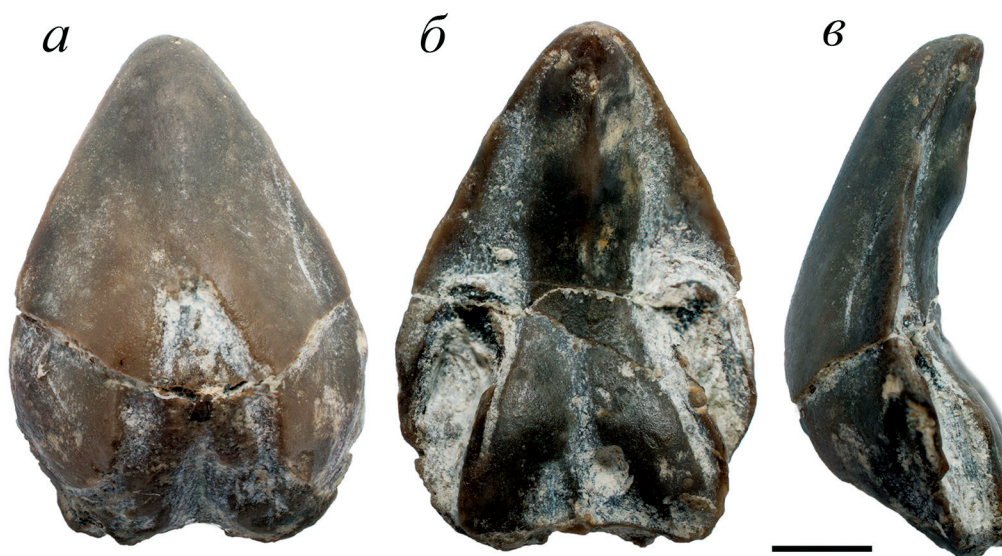


Рис. 6. *Gonatocheilus larus* (Faure-Biguet, 1819), образец № 5607/4, длина масштабного отрезка 2 мм

номерно сильновогнутым. Продольный валик довольно отчетливо отграниченный, неширокий (на его долю приходится немного менее трети от наибольшей ширины капюшона), почти не расширяющийся, прямой, развит только под капюшоном. На срединном валике, а также под задней третью длины рукоятки наблюдается срединное ребро. Оно довольно отчетливо отграниченное, равномерно очень узкое, невысокое. Под передней частью рукоятки срединное ребро сменяется бороздкой. Поверхность ринхолита по краям от продольного валика уплощённая, а по краям от срединного ребра рукоятки вогнутая.

Р а з м е р ы

Экз. №	L	l_1	l_2	b_1	b_2	H	l_1/l_2	b_1/b_2	H/b_1	H/L
5607/4	12,0	8,2	3,8	7,6	6,3	3,7	2,16	1,21	0,49	0,31

С р а в н е н и е. Данный экземпляр отличается от *G. artemovae* sp. nov. относительно более длинным капюшоном, большей высотой, более резким переходом капюшона в рукоятку и значительно менее крупным зубовидным выступом.

М а т е р и а л. 1 экз. (сборы В.И. Пологова, 2017 г.).

Gonatocheilus praeoxfordiensis sp. nov.

Н а з в а н и е в и д а от лат. *prae-* и вида *G. oxfordiensis*, поскольку новый вид имеет некоторое сходство с *G. oxfordiensis* и происходит из более древних слоев.

Г о л о т и п — Палеонтологический институт РАН, № 5607/5; Юго-Восточный Крым, окрестности г. Коктебель, хребт Биюк-Янышар. Осыпь глини верхнего келловей-нижнего оксфорда.

О п и с а н и е (рис. 7). Ринхолит небольшой, округленно-пятиугольного очертаний, сверху напоминающий трёхгранную пирамиду, высокий. Капюшон стреловидной формы с шириной, превышающей длину. Боковые края капюшона пря-

мые и лишь вблизи носика немного изогнутые. Угол, образуемый боковыми краями, составляет 70°. Режущий край спрямлённый. Срединный кант капюшона в продольном направлении прямой и лишь вблизи носика и заднего края немного изогнутый. В поперечном сечении кант сглаженно-треугольный. Боковые стороны капюшона уплощённые, пологопадающие. Задний край капюшона довольно узко и глубоко вырезан, его вершина находится немного выше вершины рукоятки. Крылья крупные, широкие треугольной формы, полностью перекрывающие боковые стороны и канты рукоятки. Задние части крыльев, насколько позволяет судить сохранность, изогнутые. Кончики крыльев не сохранились. Угол между внутренними краями крыльев соответствует углу между кантами верхней поверхности рукоятки. Носик закруглённый.

Рукоятка трапецевидной формы, немного короче и немного уже капюшона. Рукоятка постепенно расширяется, достигая наибольшей ширины у заднего края. Переход капюшона в рукоятку резкий, коленообразный. Угол между ними на продольном сечении дорсальной стороны ринхолита составляет около 105°. Верхняя сторона рукоятки плоская, быстро расширяется к заднему краю. Боковые канты рукоятки, насколько позволяет судить сохранность, довольно слабо отграничены, невысокие, уплощённые, узкие, довольно быстро расширяющиеся в направлении заднего края. Боковые стороны рукоятки довольно крупные, слабо выпуклые, крутопадающие. Задний край рукоятки с небольшим язычкообразным выступом в осевой части. Заднебоковые части рукоятки закруглённые. На верхней поверхности рукоятки наблюдаются неотчётливые линии роста.

В пределах передней части вентральной стороны капюшона развит отчётливый, довольно крупный, хорошо отграниченный сзади зубовидный выступ. От последнего в направлении заднего края



Рис. 7. *Gonatocheilus praeoxfordiensis* sp. nov., образец № 5607/5, голотип, длина масштабного отрезка 2 мм

профиль нижней стороны капюшона становится равномерно сильновогнутым. Продольный валик неотчётливо отграниченный, широкий (на его долю приходится более 1/3 от наибольшей ширины капюшона), практически не расширяющийся, прямой, прослеживается только под передней половиной капюшона. Под рукояткой наблюдается срединное ребро. Оно довольно отчётливо отграниченное, очень узкое, невысокое, слабо расширяющееся в сторону заднего края и немного волнообразно изгибающееся. Поверхность ринхолита по краям от продольного валика уплощённая, а по краям от срединного ребра рукоятки вогнутая.

Размеры

Экз. №	L	l_1	l_2	b_1	b_2	H	l_1/l_2	b_1/b_2	H/b_1	H/L
5607/5	9,6	5,4	4,2	7,4	6,6	4,1	1,29	1,12	0,55	0,43

С р а в н е н и е. Данный экземпляр обнаруживает большее сходство с *G. oxfordiensis* (Till, 1906),

от которого отличается относительно меньшей длиной капюшона, относительно более широкой рукояткой, немного менее крупным зубовидным выступом и наличием срединного ребра на нижней поверхности рукоятки.

М а т е р и а л. Голотип (сборы А.П. Ипполитова, 2016 г.).

Авторы выражают искреннюю признательность Т.А. Артёмовой (г. Москва), В.И. Пологову (г. Севастополь) и А.П. Ипполитову (Геологический институт РАН, Москва) за переданные образцы ринхолитов. Авторы также благодарны М.А. Рогову (Геологический институт РАН, Москва) за замечания и дополнения к статье и С.В. Николаевой (Палеонтологический институт РАН, Москва) за неоценимую помощь в вопросах систематики ринхолитов.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Президиума Российской Академии наук, программа №17.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аркадьев В.В., Федорова А.А., Савельева Ю.Н., Тесакова Е.М. Биостратиграфия пограничных отложений юры и мела Восточного Крыма // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2006. Т. 14. № 3. С. 84–112.
2. Комаров В.Н. Первая находка ринхолитов в средней юре Горного Крыма // Палеонтол. журн. 2002. № 4. С. 21–22.
3. Комаров В.Н. Первая находка гонатохейлюсов (ринхолиты) на территории Карпат // Изв. вузов. Геология и разведка. 2004. № 2. С. 82.
4. Комаров В.Н. Атлас ринхолитов Горного Крыма. М.: ТИИЦ, 2008. 120 с.
5. Комаров В.Н. Ринхолиты — стрелки геологических часов? // Природа. 2008. №4. С. 55–58.
6. Кузьменко П.С., Комаров В.Н. Новые данные о нижнемеловых ринхолитах Юго-Западного Крыма // Изв. вузов. Геология и разведка. 2008. № 4. С. 3–10.
7. Хузина И.Р., Комаров В.Н. Ринхолиты и проблема широкого и узкого понимания таксонов // Изв. вузов. Геология и разведка. 2018. № 1. С. 12–17.
8. Шиманский В.Н. О систематическом положении ринхолитов // Труды Палеонтол. ин-та АН СССР. 1949. Т. 20. С. 199–208.
9. Шиманский В.Н. Историческая смена ринхолитов // Ископаемые головоногие моллюски. М.: Наука, 1985. С. 155–167.
10. Шиманский В.Н. О некоторых аномалиях в строении ринхолитов. // Бюл. МОИП. Отдел геол. 1987. Т. 62. Вып. 2. С. 110–117.
11. Шиманский В.Н., Алексеев А.С. Ринхолиты из датского яруса Крыма // Развитие и смена органического мира на рубеже мезозоя и кайнозоя. М.: Наука, 1975. С. 87–90.
12. Viguet F. Caractere du Rhyncholyte // Considerations sur les belemnites, suivie d'un essai de belemnitologie synoptique. Lyon (Kindelem), 1819. 63 p.
13. Dunstan A.J., Ward P.D., Marshall N.J. Nautilus pompilius Life History and Demographics at the Osprey Reef Seamount, Coral Sea, Australia // PLoS ONE. 2011. No 6(2). P. 1–10. DOI:10.1371/journal.pone.0016312.
14. Engeser T., Keupp H. Phylogeny of the aptychi-possessing Neoammonoidea (Aptychophora nov., Cephalopoda) // Lethaia. 2002. No 35. P. 79–96.
15. Kanie Y. Cretaceous tetragonitid ammonite jaws: a comparison with modern Nautilus jaws // Transactions and Proceedings of the Palaeontological Society of Japan, New Series. 1982. No 125. P. 239–258.
16. Klug C. Functional morphology and taphonomy of nautiloid beaks from the Middle Triassic of southern Germany // Acta Palaeontologica Polonica. 2001. No 46(1). P. 43–68.
17. Košťák M., Vondrážka R., Frank J., Mazuch M., Marek J. Late Cretaceous nautilid beaks from near-shore/shallow water deposits of the Bohemian Cretaceous Basin (Czech Republic) // Acta Geologica Polonica. 2010. No 60(3). P. 417–428.
18. Košťák M., Vaňková L., Mazuch M., Bubík M., Řeháková D. Cephalopods, small vertebrate fauna and stable isotope ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$) record from the Jurassic-Cretaceous transition (uppermost Crassiacollaria through Calpionella Zones) of the Outer Western Carpathians, Kurovice quarry (Czechia) // Cretaceous Research. 2018. No 92. P. 43–65.
19. Lehmann U., Tanabe K., Kanie Y., Fukuda Y. Über den Kieferapparat der Lytoceratacea (Ammonoidea) // Palaontologische Zeitschrift. 1980. No 54(3). P. 319–329.
20. Mironenko A., Gulyaev D. Middle Jurassic ammonoid jaws (anaptychi and rhynchaptychi) from Dagestan, North Caucasus, Russia // Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. 2018. No 489. P. 117–128.
21. Nemoto T., Tanabe K. New record of a rhyncholite (cephalopod upper jaw element) from the Maastrichtian of Hokkaido, Japan // Paleontological Research. 2008. No 12(3). P. 303–306.
22. Riegraf W., Luterbacher H. Jurassic and Cretaceous rhyncholites (cephalopod jaws) from the North Atlantic Ocean (Deep Sea Drilling Project Leg 1–79) and their European counterparts. Evidence for the uniformity of the Western Tethys // Geologische Rundschau. 1989. No 78. P. 1141–1163.
23. Riegraf W., Moosleitner G. Barremian rhyncholites (Lower Cretaceous Ammonoidea: calcified upper jaws) from the Serre de Bleyton (Département Drôme, SE France) // Annalen des Naturhistorischen Museums in Wien. Serie A für Mineralogie und Petrographie, Geologie und Paläontologie, Anthropologie und Prähistorie. 2010. P. 627–657.
24. Riegraf W., Schmitt-Riegraf C. Fossilium Catalogus. Mandibula fossils ammonitorum et nautilorum (Rhyncholithi et rhynchoteuthes, excl. aptychi et anaptychi). Pars 134. Kugler Publications. Amsterdam-New-York, 1995. 219 p.
25. Rogov M.A., Mironenko A.A. Patterns of the evolution of aptychi of Middle Jurassic to Early Cretaceous Boreal ammonites // Swiss Journal of Palaeontology. 2016. No 135(1). P. 139–151.
26. Saunders W.B., Spinoso C., Teichert C., Banks R.C. The jaw apparatus of Recent Nautilus and its palaeontological implications // Palaeontology. 1978. No 21. P. 129–141.

27. Septfontaine M. Sur la presence de rhyncholites dans le Lias et le Dogger des Prealpes medianes romandes (Suisse) // *Palaontologische Zeitschrift*. 1970. No 44(3/4). P. 103–127.
 28. Tanabe K., Kruta I., Landman N.H. Ammonoid buccal mass and jaw apparatus // *Ammonoid Paleobiology: From Anatomy to Ecology. Topics in Geobiology*. Vol. 43. 2015. P. 439–494.
 29. Teichert C., Moore R.C., Zeller N.D.E. Rhyncholites // *Treatise on invertebrate paleontology*. Pt. K. Geol. Soc. Amer. Univ. Kansas Press, 1964. P. 467–484.
 30. Till A. Die Cephalopodengebisse aus dem schlesischen Neocom // *Jb. K.K. geol. Reichsanstalt*. Wien. 1906. Bd. 56. H. 1. P. 89–154.
 31. Till A. Die fossilen Cephalopodengebisse // *Jb. K.K. geol. Reichsanstalt*. Wien. 1907. Bd. 57. H. 3. P. 535–682.
-
- ## REFERENCES
1. Arkadev V.V., Fedorova A.A., Saveleva Yu.N., Tesakova E.M. Biostratigraphy of the boundary deposits of the Jurassic and Cretaceous of the Eastern Crimea. *Stratigraphy. Geological correlation*, 2006, vol. 14, no 3, pp. 84–112 (In Russian).
 2. Komarov V.N. The first finding of rhyncholites in the middle Jurassic of the Mountain Crimea. *Paleontological journal*, 2002, no 4, pp. 21–22 (In Russian).
 3. Komarov V.N. The first finding of Gonatocheilus (rhyncholites) in the Carpathians. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*, 2004, no 2, p. 82 (In Russian).
 4. Komarov V.N. *Atlas of rhyncholites of Mountain Crimea*. M., TIIC Publ., 2008, 120 p. (In Russian).
 5. Komarov V.N. Rhyncholites — hands of the geological clock? *Nature*, 2008, no 4, pp. 55–58 (In Russian).
 6. Kuzmenko P.S., Komarov V.N. New data on lower Cretaceous rhyncholites of South-Western Crimea. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*, 2008, no 4, pp. 3–10 (In Russian).
 7. Khuzina R. I., Komarov V. N. Rhyncholites and the problem of broad and narrow understanding of the taxa. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*, 2018, no. 1, pp. 12–17 (In Russian).
 8. Shimansky V.N. On systematic position of rhyncholites. *Proc. of Paleontological Institute of USSR Academy of sciences*. 1949, vol. 20, pp. 199–208 (In Russian).
 9. Shimansky V.N. Historical change of rhyncholites. *Fossil cephalopods*. M., Science Publ., 1985, pp. 155–167 (In Russian).
 10. Shimansky V.N. On some anomalies in the structure of rhyncholites. *Bulletin of Moscow society of naturalists. Geological series*, 1987, vol. 62, no. 2, pp. 110–117 (In Russian).
 11. Shimansky V.N., Alekseev A.S. Rhyncholites from Danish stage of Crimea. *Development and change of the organic world at the turn of the Mesozoic and Cenozoic*. M., Science Publ., 1975, pp. 87–90 (In Russian).
 12. Biguet F. *Caractere du Rhyncolyte. Considerations sur les belemnites, suivie d'un essai de belemnologie synoptique*. Lyon (Kindelem), 1819. 63 p.
 13. Dunstan A.J., Ward P.D., Marshall N.J. Nautilus pompilius Life History and Demographics at the Osprey Reef Seamount, Coral Sea, Australia. *PLoS ONE*, 2011, no 6(2), pp. 1–10. DOI:10.1371/journal.pone.0016312.
 14. Engeser T., Keupp H. Phylogeny of the aptychi-possessing Neoammonoidea (Aptychophora nov., Cephalopoda). *Lethaia*, 2002, no 35, pp. 79–96.
 15. Kanie Y. Cretaceous tetragonitid ammonite jaws: a comparison with modern Nautilus jaws. *Transactions and Proceedings of the Palaeontological Society of Japan, New Series*, 1982, no 125, pp. 239–258.
 16. Klug C. Functional morphology and taphonomy of nautiloid beaks from the Middle Triassic of southern Germany. *Acta Palaeontologica Polonica*, 2001, no 46(1), pp. 43–68.
 17. Košťák M., Vondrážka R., Frank J., Mazuch M., Marek J. Late Cretaceous nautilid beaks from near-shore/shallow water deposits of the Bohemian Cretaceous Basin (Czech Republic). *Acta Geologica Polonica*, 2010, no 60(3), pp. 417–428.
 18. Košťák M., Vaňková L., Mazuch M., Bubík M., Reháková D. Cephalopods, small vertebrate fauna and stable isotope ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$) record from the Jurassic-Cretaceous transition (uppermost Crassicotaria through Calpionella Zones) of the Outer Western Carpathians, Kurovice quarry (Czechia). *Cretaceous Research*, 2018, no 92, pp. 43–65.
 19. Lehmann U., Tanabe K., Kanie Y., Fukuda Y. Über den Kieferapparat der Lytoceratacea (Ammonoidea). *Paläontologische Zeitschrift*, 1980, no 54(3), pp. 319–329.
 20. Mironenko A., Gulyaev D. Middle Jurassic ammonoid jaws (anaptychi and rhynchaptychi) from Dagestan, North Caucasus, Russia. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2018, no 489, pp. 117–128.
 21. Nemoto T., Tanabe K. New record of a rhyncholite (cephalopod upper jaw element) from the Maastrichtian of Hokkaido, Japan. *Paleontological Research*, 2008, no 12(3), pp. 303–306.
 22. Riegraf W., Luterbacher H. Jurassic and Cretaceous rhyncholites (cephalopod jaws) from the North Atlantic Ocean (Deep Sea Drilling Project Leg 1–79) and their European counterparts. Evidence for the uniformity of the Western Tethys. *Geologische Rundschau*, 1989, no 78, pp. 1141–1163.
 23. Riegraf W., Moosleitner G. Barremian rhyncholites (Lower Cretaceous Ammonoidea: calcified upper jaws) from the Serre de Bleyton (Département Drôme, SE France). *Annalen des Naturhistorischen Museums in Wien. Serie A für Mineralogie und Petrographie, Geologie und Paläontologie, Anthropologie und Prähistorie*, 2010., pp. 627–657.
 24. Riegraf W., Schmitt-Riegraf C. Fossilium Catalogus. Mandibula fossils ammonitorum et nautilorum (Rhyncholithi et rhynchoteuthes, excl. aptychi et anaptychi). Pars 134. Kugler Publications. Amsterdam-New-York, 1995. 219 p.
 25. Rogov M.A., Mironenko A.A. Patterns of the evolution of aptychi of Middle Jurassic to Early Cretaceous Boreal ammonites. *Swiss Journal of Palaeontology*, 2016, no 135(1), pp. 139–151.
 26. Saunders W.B., Spinosa C., Teichert C., Banks R.C. The jaw apparatus of Recent Nautilus and its palaeontological implications. *Palaeontology*, 1978, no 21, pp. 129–141.
 27. Septfontaine M. Sur la presence de rhyncholites dans le Lias et le Dogger des Prealpes medianes romandes (Suisse). *Palaontologische Zeitschrift*, 1970, no 44(3/4), pp. 103–127.
 28. Tanabe K., Kruta I., Landman N.H. Ammonoid buccal mass and jaw apparatus. *Ammonoid Paleobiology: From Anatomy to Ecology. Topics in Geobiology*, 2015, Vol. 43, pp. 439–494.
 29. Teichert C., Moore R.C., Zeller N.D.E. Rhyncholites. *Treatise on invertebrate paleontology*, Pt. K. Geol. Soc. Amer. Univ. Kansas Press, 1964, pp. 467–484.
 30. Till A. Die Cephalopodengebisse aus dem schlesischen Neocom. *Jb. K.K. geol. Reichsanstalt*, Wien, 1906, bd. 56, h. 1, pp. 89–154.
 31. Till A. Die fossilen Cephalopodengebisse. *Jb. K.K. geol. Reichsanstalt*, Wien, 1907, bd. 57, h. 3, pp. 535–682.

ТЕКТОНИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ ЗОНЫ СОЧЛЕНЕНИЯ ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКОЙ ПЛАТФОРМЫ И СКИФСКОЙ ПЛИТЫ (ТЕРРИТОРИЯ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ)

А.Г. ГРАНОВСКИЙ, Н.В. ГРАНОВСКАЯ

*Южный федеральный университет
105/42, Большая Садовая ул., Ростов-на-Дону 344006, Россия
e-mail: granovskyag@mail.ru, grannv@sfedu.ru*

Рассмотрено тектоническое строение Ростовской области в зоне сочленения Восточно-Европейской и Скифской платформ. Показаны разновозрастные и разноранговые докембрийские и фанерозойские тектонические структуры, их соотношение в пределах изученной территории и схемы тектонического районирования. Охарактеризованы структурно-вещественные комплексы пород, условия их формирования и тектонические этапы развития. Восточно-Европейская платформа в пределах описываемой территории представлена двумя разобщенными фрагментами Русской плиты. Северный фрагмент является юго-восточной частью Воронежской антеклизы и расположен севернее Донецко-Астраханского тектонического шва. Южный фрагмент соответствует восточному погружению допалеозойских пород Украинского щита, образуя погребенный Ростовский выступ. Скифская (эпигерцинская) платформа расположена к югу от Донецко-Астраханского тектонического шва, представлена складчатым палеозойским (местами досреднеюрским) основанием и платформенным чехлом мезозойско-кайнозойских пород. Частью Скифской платформы является площадь открытого Донбасса, где палеозойские породы основания платформы выступают на дневную поверхность и образуют Донецкий выступ. Северная часть Скифской плиты, простирающаяся над погребенной системой складок Донбасса, ограничена с юга Маньчскими надразломными прогибами и называется «валом Карпинского». Система Маньчских прогибов и территория, расположенная южнее, составляют Предкавказскую часть Скифской плиты.

К л ю ч е в ы е с л о в а: платформа; тектоническая структура; Ростовский выступ; Воронежская антеклиза; Донецкое складчатое сооружение.

DOI:10.32454/0016-7762-2019-1-16-23

TECTONIC STRUCTURE OF THE ZONE OF CONJUGATION OF THE EASTERN EUROPEAN PLATFORM AND THE SCYTHIAN PLATE (TERRITORY OF THE ROSTOV REGION)

A.G. GRANOVSKY, N.V. GRANOVSKAYA

*Southern Federal University
105/42, Bolshaya Sadovaya str., Rostov-on-Don 344006, Russia
e-mail: granovskyag@mail.ru, grannv@sfedu.ru*

The tectonic structure in the junction zone of the East European and Scythian platforms of Rostov region has been considered. Different ages and ranks of Precambrian and Phanerozoic tectonic structures, their correlation within the studied area and tectonic zoning scheme are presented. The structure and composition of rock complexes, formation conditions and their tectonic development stages are characterized. The East European platform within the described territory is represented by two disconnected fragments of the Russian Plate. The northern fragment is the south-eastern part of the Voronezh antecline, located to the north of the Donetsk-Astrakhan tectonic suture. The southern fragment corresponds to the eastern dipping of the Pre-Paleozoic rocks of the Ukrainian shield, forming the buried Rostov ledge. The Scythian (Epihercynian) platform located to the south of the Donetsk-Astrakhan tectonic suture, is represented by a folded Paleozoic (in some places pre-middle-Jurassic) base and a platform cover of Mesozoic-Cenozoic rocks. The part of the Scythian platform is the exposed Donbass area, where Paleozoic rocks of the base of the platform protrude to the surface and form the Donetsk ledge. The northern part of the Scythian plate, which extends over the buried folds system of Donbass, is allocated from the south by Manych over-fault deflections and called «Karpinsky shaft». The system of the Manych deflections and the territory located to the south compile the Ciscaucasian part of the Scythian plate.

K e y w o r d s: platform; tectonic structure; Rostov ledge; Voronezh antecline; Donetsk folding structure.

Представленная работа является результатом регионального обобщения фактического материала, накопленного несколькими поколениями геологов. Многолетние геологические исследования в описываемом районе включали региональные геологические работы масштаба 1 : 200000, поисковое бурение на уголь, нефть и газ, поисковые работы на золото и полиметаллы, аэромагнитную съемку масштабов 1 : 25000 и 1 : 50000, глубинное сейсмическое зондирование ГСЗ—КМПВ, тематические исследования по составлению тектонических и геодинамических карт. Необходимость подготовки статьи обусловлена отсутствием в широком пользовании обобщенных схем тектонического районирования территории Ростовской области и описания геологических структур. В регионе прово-

дится значительный объем геолого-разведочных работ, требующих использования научно обоснованных, современных тектонических карт и схем. В нескольких вузах на юге России ведется обучение студентов разных геологических специальностей, использующих территорию региона для проведения учебных и производственных практик, подготовки курсовых, выпускных квалификационных и диссертационных работ.

В геологическом отношении территория Ростовской области включает участки древней Восточно-Европейской (ВЕП) и молодой Скифской эпигерцинской платформ, а также области их сочленения. Граница между ними проходит по субширотной полосе региональных разломов (рис. 1). Другая субмеридиональная система разломов, рас-

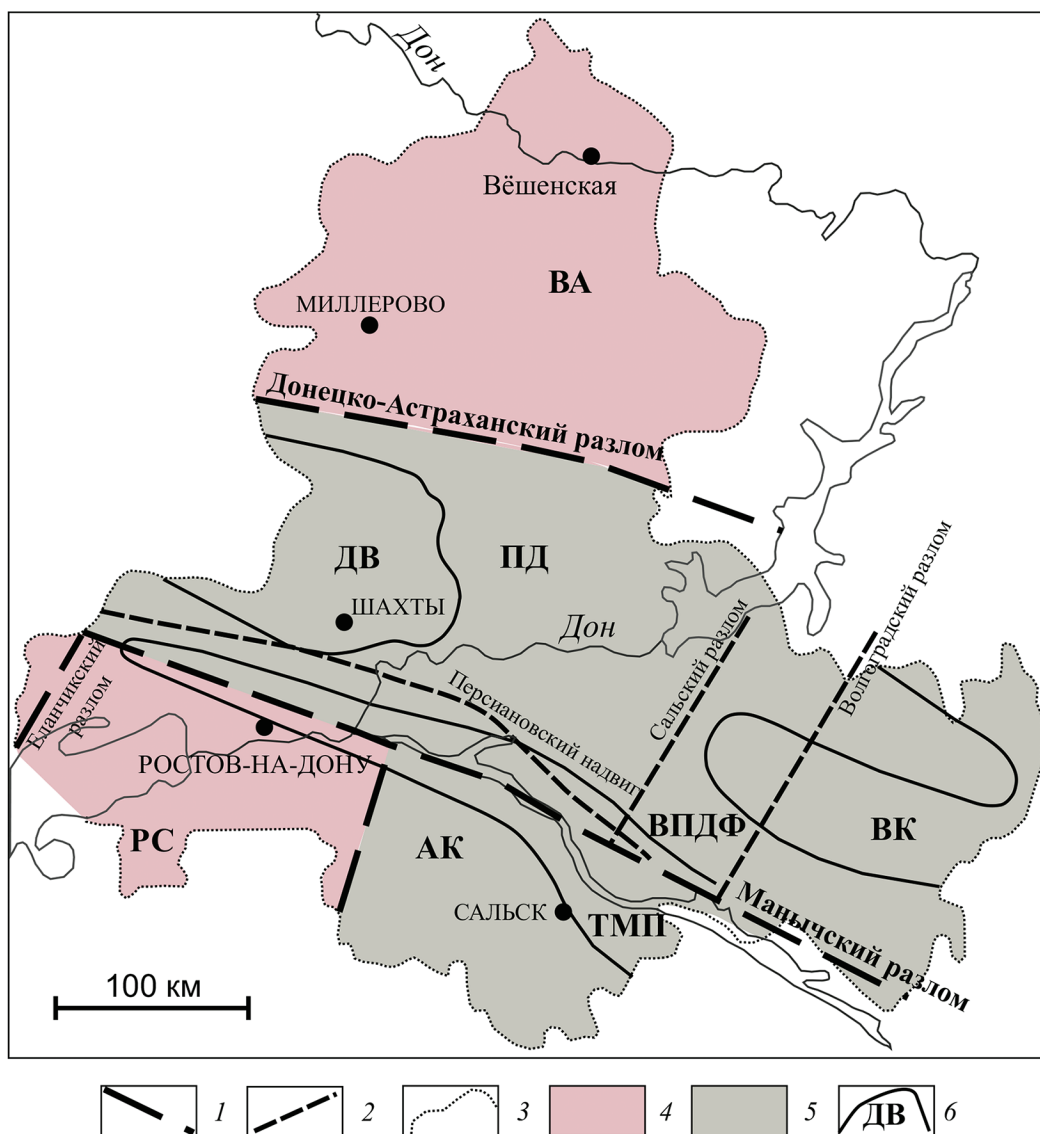


Рис. 1. Тектоническая схема территории Ростовской области: 1–2 – разломы: 1 – I порядка (совпадающие с границами ВЕП и Скифской плиты), 2 – II порядка; 3 – границы Ростовской области; 4 – структуры Восточно-Европейской платформы: ВА – Воронежская антеклиза, РС – Ростовский свод; 5 – поле развития структур Скифской платформы; 6 – структуры Скифской платформы: ДВ – Донецкий выступ, ПД – Погруженный Донбасс, ВК – вал Карпинского, ВПДФ – Восточно-Донбасское поднятие фундамента, ТМП – Тузово-Маньчский прогиб, АК – Азово-Кубанская впадина

положенная в восточной части региона, также пересекает всю территорию области и разделяет Воронежскую антеклизу и Прикаспийскую синеклизу [2, 8].

Общая характеристика тектонических структур.

Основой докембрийской структуры южной части ВЕП являлся грандиозный Сарматский мегаблок, образованный в процессе слияния и коллизии разобщённых континентальных фрагментов ВЕП примерно 1,7 млрд. лет назад. В рифее этот мегаблок был рассечён крупной субширотной транс-континентальной структурой, так называемым Сарматско-Тураническим линеamentом [6]. Эта риф-

тогенная структура разделила юг ВЕП на Украинскую и Курско-Воронежскую части Сарматии. Примерно в границах этой рифтогенной структуры локализовано Донецкое складчатое сооружение (ДСС), к югу от которого находится погружённая часть Украинского щита — Ростовский тектонический выступ (Ростовский свод — РС), а к северу располагается погружённая часть Курско-Воронежского щита, которая соответствует южному и юго-восточному склонам Воронежской антеклизы [3]. Донецкое складчатое сооружение палеозойского возраста подразделяется на две крупные поперечные тектонические структуры — Восточный Донбасс и

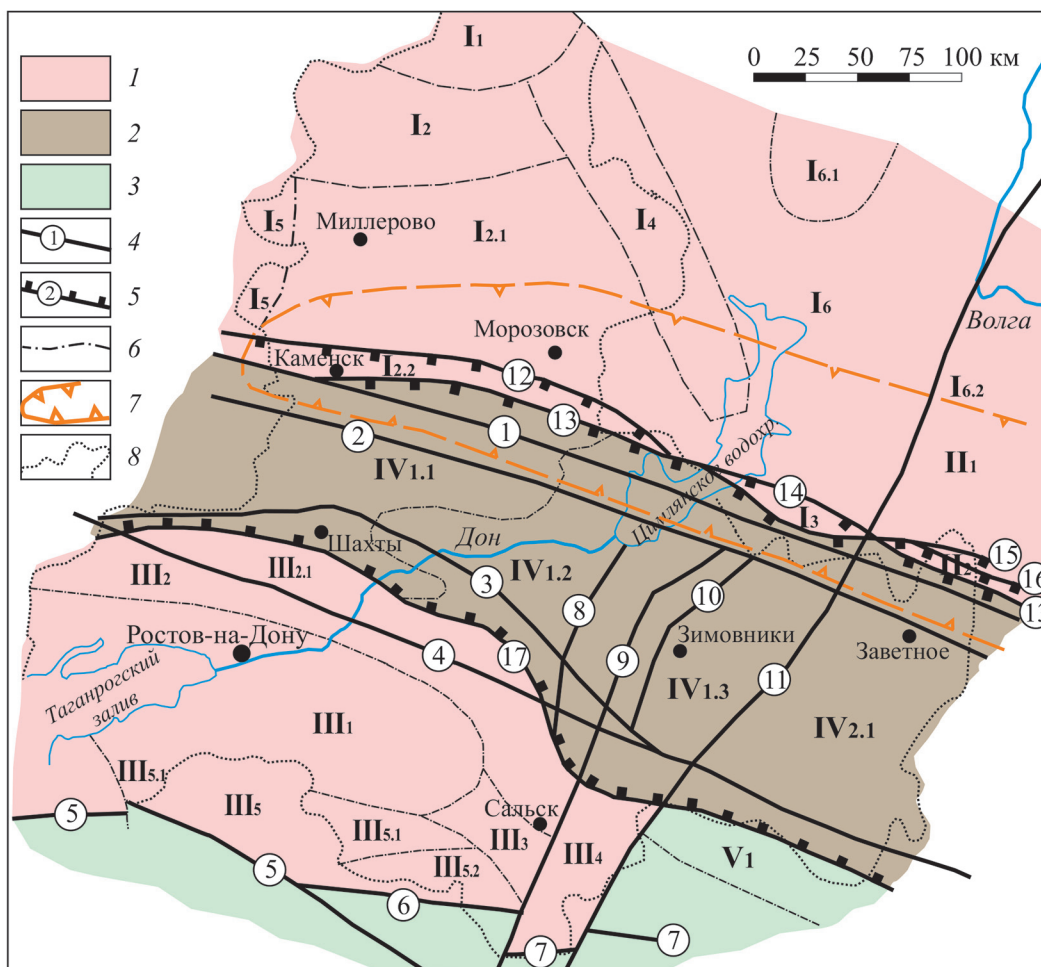


Рис. 2. Схема тектонического районирования территории Ростовской области (с использованием материалов [8, 9]): 1–3 — тектонические структуры: 1 — Восточно-Европейской платформы, 2 — Донецкого складчатого сооружения, 3 — Предкавказья; 4 — глубинные разломы: 1 — Каменский, 2 — Северный шовный, 3 — Персиановский (Северо-Маньчский), 4 — Южно-Донецкий (Маньчский), 5 — Кушевский, 6 — Песчанокопский, 7 — Радыковский, 8 — Цимлянский, 9 — Западно-Сальский, 10 — Семиченский, 11 — Сальско-Волгоградская система разломов (Волгоградский, Восточно-Донбасский, Восточно-Сальский); 5 — надвиги: 12 — Северо-Донецкий (Глубокинский), 13 — Каменский (Алмазный), 14 — Северо-Котельниковский, 15 — Каракульский, 16 — Чкаловский, 17 — Северо-Маньчский (Персиановско-Маньчский); 6 — границы тектонических зон; 7 — контуры Преддонецкого краевого прогиба; 8 — границы территории Ростовской области. Тектонические зоны. Русская плита. Воронежская антеклиза (южная часть): I₁ — Павловский выступ, I₂ — Первомайско-Чирская моноклинал, I_{2.1} — Принадвиговая зона, I_{2.2} — Межнадвиговая зона, I₃ — Котельниковский блок, I₄ — Задонский выступ, I₅ — Миллеровский вал, I₆ — Восточный склон, I_{6.1} — Доно-Медведицкая зона дислокаций, I_{6.2} — Приволжская моноклинал. Северо-Каспийская плита (мегаплатина): П₁ Карасальская зона дислокаций, П₂ — Верхне-Сальский и Лозовской блоки Каракульско-Смушковской зоны дислокаций. Ростовский свод (над Ростовским докембрийским выступом погруженной части Украинского щита): П₃ — Привершинная часть, П_{3.1} — Северный склон, П_{3.2} — Тузовско-Маньчский мезозойско-кайнозойский прогиб (над Новочеркасской палеозойской моноклиналью), П_{3.3} — Целинская седловина, П_{3.4} — Сальская зона поднятий, П_{3.5} — Южный склон, П_{3.5.1} — Ейская моноклинал, П_{3.5.2} — Песчанокопский залив Ладовской мезозойской впадины (над палеозойской Песчанокопской впадиной). Скифская эпипалеозойская платформа. Донецкое складчатое сооружение: IV₁ — Донецкий кряж, IV_{1.1} — открытая часть, IV_{1.2} — закрытая часть, IV_{1.3} — Восточно-Донбасское поднятие, IV₂ — Кряж Карпинского, IV_{2.1} — Ремонтненский блок. Предкавказское складчатое сооружение: V₁ — Маньчско-Гудилковский прогиб

вал Карпинского (ВК), разделённые субмеридиональным Восточнодонецким поднятием (Восточно-Донецкое поднятие фундамента — ВДПФ). Восточный Донбасс, в свою очередь, состоит из «открытой» части, где обнажаются каменноугольные комплексы пород (Донецкий выступ — ДВ), и «погруженной», где они покрыты чехлом мезозойско-кайнозойских отложений (Погруженный Донбасс — ПД). С юга и с севера Донецкое складчатое сооружение обрамляется примыкающими к нему прогибами: с севера Преддонецким или Тормосинским, с юга Южно-Донецким или Тузово-Маньчским (ТМП). В пределах последнего с запада на восток выделяются: Матвеево-Курганская, Тузовская, Новочеркасская, Суховская, Пролетарская и Гудилловская впадины.

Кроме этих чётко выраженных субширотных структур донецкого простираения, выделяется ряд поперечных субмеридиональных элементов, таких как Миллеровский вал на западной границе Преддонецкого прогиба, Сальский вал между Пролетарской и Гудилловской впадинами Южно-Донецкого прогиба. С юга в пределы Ростовского выступа вклинивается небольшая, но глубокая Канеловская субмеридиональная впадина, являющаяся фрагментом предкавказской Азово-Кубанской (АК) структуры. Помимо площадного тектонического районирования на описываемой территории достаточно уверенно можно выделить три вертикальных структурных яруса [4]. Нижний — докембрийский ярус, состоит из трёх структурных этажей: архейского, раннепротерозойского и позднепротерозойского. Средний структурный ярус (палеозойский) включает девонский, раннекаменноугольный и средне—верхнекаменноугольный комплексы. Породы палеозойского яруса развиты повсеместно, за исключением Ростовского выступа. Верхний (пермско-мезозойско-кайнозойский) структурный ярус состоит из пяти структурных этажей: пермско-триасового (дискуссионного), нижнемелового-туронского, сантон-нижнепалеоценового, верхнепалеоценового-нижнемиоценового, верхнемиоценового-антропоценового. Перечисленные структурные этажи разделены региональными поверхностями несогласий и распространены повсеместно, кроме открытого Донбасса. Основные тектонические элементы территории Ростовской области приведены на схеме тектонического районирования, составленной с использованием материалов Е.В. Мовшовича (рис. 2) [8, 9].

Восточно-Европейская платформа в пределах территории Ростовской области представлена двумя разобщёнными фрагментами. На севере это южная часть Воронежской антеклизы, расположенная севернее Донецко-Астраханского тектонического шва (или Северо-Донецкого разлома). На юге это Ростовский выступ погребённой части Украинского кристаллического щита. В этих участках

обособляются древний (дорифейский) кристаллический фундамент и более молодой платформенный чехол. Глубина залегания допалеозойской поверхности древнего фундамента колеблется от 0 до 18 км и рассматривается как результат тектонических движений блоков земной коры, по крайней мере с девонского времени. Фундамент Русской плиты сложен архейско-раннепротерозойскими метаморфическими сериями и интрузиями, а платформенный чехол — среднедевонскими и более молодыми осадочными породами. Породы рифея, венда, кембрия, ордовика, силура и нижнего девона здесь отсутствуют.

Максимально высокие отметки фундамента расположены в присводовой части Воронежской антеклизы (около 0 м) и Ростовского погребённого выступа (около –200 м), а наиболее низкие значения отмечаются на востоке области (–10—12 км) и в Прикаспийской синеклизе, где они достигают глубины 18 км (рис. 3).

Весь север территории области занимает юго-восточный склон **Воронежской антеклизы**. Фундамент платформы наиболее приподнят в районе Казанско-Калачского поднятия, а к северо-востоку и к юго-западу от этого участка фундамент погружается в сторону Прикаспийской синеклизы и складчатого Донбасса соответственно. Этот участок, расположенный между Северо-Донецким разломом и максимальным поднятием фундамента от станции Казанской через г. Калач-на-Дону к Котельничевскому выступу, называется южным склоном Воронежской антеклизы. В составе пород фундамента платформы в пределах этой части антеклизы встречаются кварцевые диориты, габбро, микроклинизированные граниты, кварцево-сланцевые сланцы и биотитовые роговики, гнейсы, метаморфические сланцы, граниты, долериты, базальты [5]. Платформенный чехол образован отложениями почти всех систем и ярусов, начиная со среднего девона. Вулканогенно-осадочные породы девона развиты только на восточном склоне Воронежской антеклизы, а на южном — отсутствуют. Каменноугольная система представлена всеми тремя отделами с колебанием мощности от 100 м на северо-западе до 2000 м на юго-востоке. Турнейский ярус сложен в основном карбонатными породами. Визейский и намюрский ярусы, а также верхний карбон представлены чередованием терригенных и карбонатных пород. В погруженной части юго-восточного склона Воронежской антеклизы залегают глинистые красноцветы ранней перми. Породы верхней перми и нижнего триаса образуют единую формацию (пестроцветы, алевролиты, глины) и располагаются на южной и восточной окраинах антеклизы, залегая трансгрессивно на породах палеозоя. Отложения верхнего триаса в описываемом районе отсутствуют. Отложения юр-

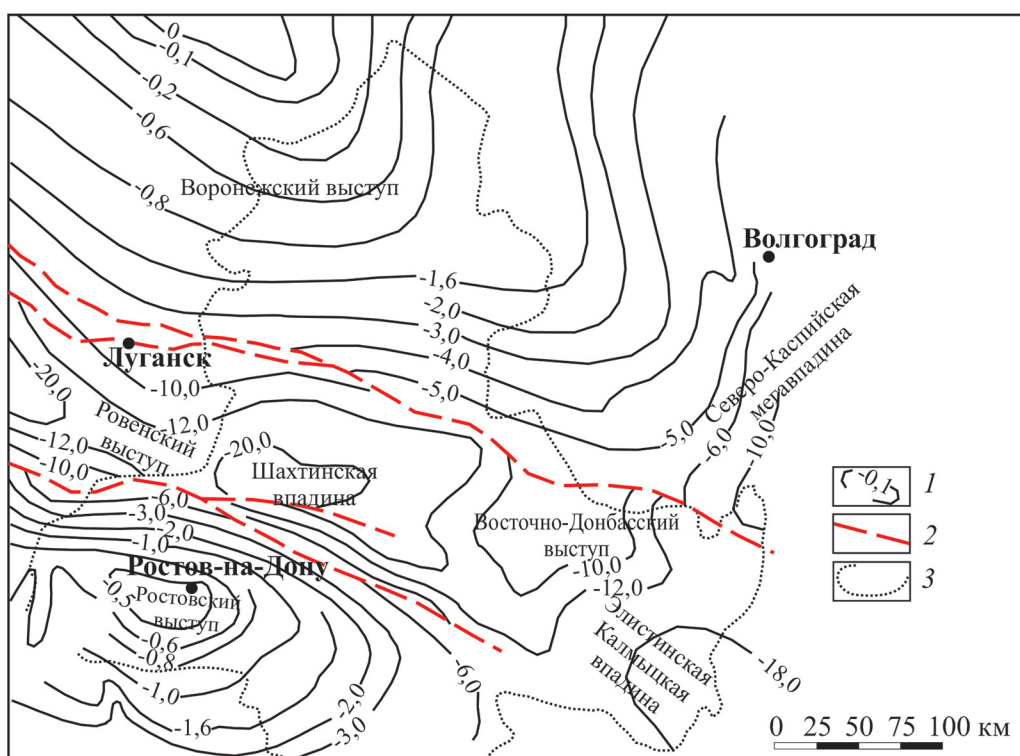


Рис. 3. Схема рельефа докембрия территории Ростовской области [9]: 1 — изогипсы поверхности докембрийского фундамента; 2 — крутые склоны рельефа фундамента (разрывные смещения); 3 — границы территории Ростовской области

ской и меловой систем залегают трансгрессивно на каменноугольных породах и распространены только на востоке за пределами Ростовской области. Верхнемеловые, в основном карбонатные, породы развиты в пределах антеклиз повсеместно. Палеогеновые песчаные отложения почти везде залегают на размытой поверхности мела и имеют мощность до 100 м. Неоген Воронежской антеклизы представлен аллювиальной толщей ергенинских песков. Общая мощность мезозоя и кайнозоя составляет около 1000 м.

Из структур второго порядка на южном склоне Воронежской антеклизы выделяются *Первомайско-Чирская моноклинал* и *Тормосинский (Преддонецкий) прогиб*. Первомайско-Чирская моноклинал занимает северную часть южного склона антеклизы и характеризуется пологим наклоном фундамента (20 м на 1 км). На западе она ограничена Миллеровским поднятием (I₅ на рис. 2). Тормосинский (Преддонецкий) прогиб, по Северо-Донецкому надвику граничит с Донбассом и представляет относительно узкую структуру, открывающуюся в Прикаспийскую синеклизу. Прогиб заполнен толщами перми и триаса, мощностью до 600 м, он асимметричен, имеет пологое северное и крутое южное крылья, причём часть последнего срезана Северо-Донецким надвигом и размыта (рис. 2).

Докембрийские образования на территории Ростовской области отмечены к северу и югу от

Донецкого складчатого сооружения (ДСС). На севере выделяется ряд блоков, которые являются частью Воронежской антеклизы. Это Курский и Калачско-Эртильский мегаблоки, разделённые Лосевской шовной зоной [4]. В юго-западной части Ростовской области и примыкающей к ней территории Украины также выделяются две крупные докембрийские структуры: Приазовский блок Украинского щита (располагается за пределами исследуемой территории) и Ростовский свод, погребённый под мезозойско-кайнозойским чехлом. Эти структуры разобщены в пространстве, но генетически взаимосвязаны, имеют черты сходства и различия.

Ростовский погребённый выступ выделяется как крупная тектоническая структура в южной части Ростовской области. Он расположен на восточном продолжении Украинского кристаллического щита. Выступ стал покрываться осадками чехла лишь с мелового времени. Каменноугольные толщи Донбасса, смятые в позднем палеозое в систему линейных складок, четко ограничивают Ростовский выступ докембрийских пород с севера. С востока и юга выступ ограничен складчатым палеозоем фундамента Скифской плиты, однако контур выступа осложнён косыми и поперечными разломами и не ясен. Отметки кровли фундамента платформы в пределах Ростовского выступа изменяются от 450 м на своде вблизи устья Дона, до 550 м на западе, от 1200 м на севере и востоке, до 1600 м на юге (рис. 3).

Сводовому строению поверхности фундамента в пределах Ростовского выступа (свода) соответствует также и сводовое строение чехла. В строении чехла участвуют меловые, палеогеновые, неогеновые и четвертичные отложения. Меловая система представлена двумя комплексами пород: нижнемеловым, в основном маломощным терригенным, и верхнемеловым — преимущественно карбонатным. Палеогеновые отложения сложены маломощными глауконитовыми песками.

Эпигерцинская Скифская плита, являющаяся частью Скифско-Туранской молодой платформы, в пределах территории Ростовской области расположена к югу от Донецко-Астраханского (Северо-Донецкого) разлома. Плита сложена складчатым палеозойским (местами досреднеюрским) основанием и платформенным чехлом мезозойских и кайнозойских пород. Скифская плита возникла после палеозойской складчатости [1]. В строении плиты в пределах рассматриваемой территории (Ростовской области) выделяют вал Карпинского, Предкавказье, а также Донецкое складчатое сооружение, включающее открытый Донбасс (Донецкий выступ) и погруженный Донбасс. Граница Донецкого выступа проводится по изопаките 50 м платформенного чехла, сложенного образованиями верхнего мела и кайнозоя. Северная часть Скифской плиты, построенная в виде вала, простирается от Донбасса к Каспийскому морю и ограничена с юга Манычскими надразломными прогибами. Она называется «валом (кряжем) Карпинского». Манычские прогибы и территория, расположенная южнее, относится к предкавказской части Скифской плиты. Вал Карпинского является восточным продолжением размытого и осложнённого разрывами Донецкого складчатого сооружения (Донбасса), прикрытого платформенным чехлом нижнемеловых пород. Сальско-Волгоградская система разломов субмеридионального простираения разделяет вал Карпинского, отделяя его западную часть, называемую Погруженным Донбассом, от восточной (рис. 1). Открытый Донбасс составляет относительно небольшую часть структуры Донбасса, где размытые палеозойские (каменноугольные) отложения в виде линейных складок выступают на дневную поверхность и образуют Донецкий выступ в составе Донецкого складчатого сооружения.

Донецкий выступ и вал Карпинского в целом слагают крупную положительную складчатую эпигерцинскую структуру. Нижние горизонты складчатого Донбасса образуют протяжённый грабен-синклиний, ограниченный уступами сбросового типа, связанными с проявлением рифтогенных процессов в девоне [4]. Породы верхнего горизонта слагают размытый горст-антиклинорий, образовавшийся в процессе коллизии пород в карбоне и ограниченный надвигами, формирование

которых происходило в мезозое и кайнозое на фоне общего опускания Скифской плиты. Активизация и движение по унаследованным тектоническим нарушениям, в результате давления и перемещения Предкавказских микроплит привели к образованию в верхних горизонтах продольных взбросов (Северо-Донецкого, Каменского надвигов, Песчанокопского, Главного и др.) с амплитудами 1—2 км. Движения по южным бортовым разломам вызвали в свою очередь образование системы Манычских надразломных прогибов. В пределах вала Карпинского широкое развитие получили линейные тектонические структуры (поднятия, прогибы) донецкого простираения, а также поперечные поднятия и прогибы, приуроченные к поперечным разрывам в виде ступенеобразных блоков. Фундамент Скифской плиты сложен в основном осадочными образованиями карбона. В западной части он сильно дислоцирован, а в восточной — его строение не выяснено. Наиболее древними породами чехла Скифской плиты являются среднеюрские песчано-глинистые породы, распространённые только на юго-востоке за пределами рассматриваемой территории.

В Ростовской области палеозойские отложения (карбон, пермь), относящиеся к чехлу древней платформы (ВЕР) трансгрессивно перекрыты песчано-глинистыми толщами нижнего мела, которые распространены по всей территории, за исключением складчатого Донбасса и отдельных участков Ростовского выступа. Верхнемеловые карбонатные слои, а также образования палеогена перекрывали всю Скифскую плиту, но в последующем на территории складчатого Донбасса были эродированы. Неогеновые отложения занимают меньшие площади и приурочены к молодым прогибам.

Донецкое складчатое сооружение протягивается вдоль южного края Воронежской антеклизы, примерно от г. Константиновска на Украине до железной дороги Сальск-Котельниково. Выделяются: открытый Донбасс (Донецкий выступ) и погруженный Донбасс, который рассматривается в составе вала Карпинского (рис. 1, 2).

Складчатый Донбасс может рассматриваться в составе гетерогенной Скифско-Донецкой эпигерцинской платформы, образовавшийся вследствие её значительной мобильности в палеозойский этап [1], либо представлять собой результат процессов коллизии Скифии и Евразии в раннем палеозое [11]. В восточном направлении, в пределах складчатой структуры, донецкий тип складчатости и фациальный состав пород карбона меняются. Переслаивание карбонатных и угленосных терригенных пород сменяется однообразной безугольной, аргиллитовой толщей, характерной для открытого морского бассейна, складчатые деформации приобретают более спокойный характер, а глубина кровли фундамента здесь достигает 10 км.

Преобладающими структурами на Донбассе являются линейные складки юго-восточного простирания. Они образовались в конце палеозоя на месте Донецко-Каспийского прогиба, выполненного отложениями карбона. Орографически открытый Донбасс возник в результате послепалеогеновых поднятий центральной части Донбасса. Здесь платформенный чехол и часть палеозойского основания были размыты и на поверхность выступили смятые в складки породы карбона.

По форме и размерам в Донбассе выделяется несколько типов складок. На севере (между Воронежской антеклизой и типичными складками Донбасса) фиксируется зона складок переходного типа (характерных для краевых прогибов) от изометричных к линейным. Южнее располагается северная зона мелкой складчатости, ещё южнее — полоса относительно крупных складок и затем южная зона мелких складок.

В пределах вала Карпинского можно выделить ряд разноглубинных тектонических блоков, в том числе блок Погружённого Донбасса, Ремонтненско-Элистинский, Промысловский, Бузгинский. Блоки отделены один от другого крупными нарушениями субмеридионального простирания. Наиболее значимым является Восточно-Сальский разлом, расположенный между Погруженным Донбассом и Ремонтненско-Элистинскими блоками.

Тектоническая эволюция Донбасса включает несколько этапов развития структур [2]. Первый, рифейский, этап связан с расколом древней платформы, образованием троговых прогибов, базальтовым магматизмом самбекского комплекса, с золото-серебряной и медной минерализацией. Комплекс соответствует ранней стадии континентального рифтогенеза. В раннем девоне наступил второй этап, связанный с регенерацией рифта, его активным растяжением, образованием осадочных прогибов и проявлением вулканоплутонического магматизма в виде титаносных пироксенитов первой фазы приазовского комплекса и дифференцированных вулканитов второй фазы — от щелочных пикритов до риолитов. Этот этап соответствует обстановке континентальных окраин Андского типа [2]. Третий этап (каменноугольный) обусловлен сжатием, коллизией тектонических блоков и образованием анастасиевского магматического комплекса, представленного вулканитами от трахибазальтов до субщелочных риолитов. Коллизионные процессы сопровождались сдвигами и образованием осадочных прогибов с терригенной и углисто-терригенно-карбонатной формациями. После завершения коллизионных процессов, наступил четвертый (пермский) этап орогенеза. Он сопровождался внедрением интрузий кислых и средних пород в позднем карбоне—ранней перми и выделяется как южнодонбасский магматический комплекс. Пятый этап тектоно-магматической

активизации, вероятно, обусловлен перемещением и давлением с юга Кавказских микроплит. С ним связано проявление андезит-трахиандезитового несветаевского (позднетриасового — ранне-среднеюрского) и лампрофирового миус-керчикского (средне—верхнеюрского) комплексов. К первому из них приурочены проявления золота и полиметаллов, а во втором предполагается алмазонасность. Последний (меловой) этап стабилизации и перехода Донбасса к платформенному режиму характеризуется затухающей тектонической активностью, слабо проявленным дайковым диоритовым и дацитовым магматизмом, незначительной деформацией пород [2].

В предкавказской части Скифской плиты на описываемой территории выделяются три тектонические структуры: зона Манычских прогибов, Целинская седловина и Сальские поперечные поднятия.

Система *Манычских прогибов* — это узкая полоса вдоль долин рек Тузлов, Маныч, нижнего течения Кумы, которая располагается над южным бортовым уступом палеозойского грабена. Прогибы представляют собой асимметричные грабены и возникли в результате тектонических подвижек по этому уступу в мезозое и кайнозое. В результате северные крылья прогибов оказались наложенными на палеозойскую складчатую структуру Донбасса и фундамент вала Карпинского, а южные на фундамент прилегающей предкавказской части Скифской плиты. Зона разбита поперечными воздыманиями на ряд частных прогибов: Западно-Манычский (Тузлово-Манычский), Центрально-Манычский (Манычско-Гудилковский), Восточно-Манычский (Кумский).

В составе фундамента Манычских прогибов предположительно определены слои раннепермского возраста, а отложения верхней перми и триаса не установлены. Осадочные образования чехла сложены юрскими, меловыми, палеогеновыми и неоген-четвертичными породами, мощностью от 1500 до 3000 м. Отложения неоген-четвертичного возраста имеют специфический состав — представлены переслаиванием морских и континентальных песков и глин.

Целинская седловина и Сальское поперечное поднятие приурочены к границе с Предкавказьем и являются северными окраинными тектоническими элементами Азово-Кубанской впадины и Ставропольского поднятия. Фундамент этих структур сложен дислоцированными каменноугольными образованиями, а чехол — меловыми, палеогеновыми и неоген-четвертичными породами [7].

Анализ и обобщение материалов по геологическому строению территории Ростовской области показывают, что образование основных тектонических структур происходило в течение длительного временного интервала, включающего акро-

темы, зонотемы, и эротемы. Это обусловило сложную латеральную и вертикальную зональность в размещении разновозрастных структурно-формационных комплексов. Тектоническое строение территории отражено в многоярусной и полициклической схеме тектонического районирования зоны

сочленения ВЕП и Скифской плиты. Сопоставление рассмотренных схем строения и истории геологического развития территории Ростовской области требует глубокого научного изучения и обобщения обширного и разнородного геологического материала.

ЛИТЕРАТУРА

1. Геология СССР: Ростовская, Волгоградская, Астраханская области и Калмыцкая АССР. Геологическое описание / Ред. Ф.А. Белов. М.: Недра, 1969. Т. XLVI. 666 с.
2. Грановский А.Г., Зайцев А.В., Рышков М.М., Зеленщиков Г.В. Этапы геодинамического развития южной окраины Восточно-Европейской платформы (территория Ростовской области) // Вопросы геологии и освоения недр юга России / Ред. Н.Н. Погребнов. Р-н-Д: ЮНЦ РАН, 2007. С. 8–17.
3. Грановский А.Г. Магматизм и этапы тектонической эволюции Донецкого складчатого сооружения Восточного Донбасса // Геотектоника. 2018. № 4. С. 96–110. DOI: 10.1134/S0016853X18040033.
4. Зайцев А.В., Грановский А.Г., Зеленщиков Г.В., Рышков М.М. Строение и геодинамика докембрийских структур в зоне сочленения Воронежского кристаллического массива и Ростовского тектонического выступа // Докл. РАН. 2003. Т. 392. № 1. С. 81–84.
5. Зеленщиков Г.В., Соколов В.А., Чернявский Г.В. Основные черты строения и проявления магматизма в платформенный и субплатформенный этапы развития юго-востока Русской плиты // Тез. совещ. «Глубинное строение, магматизм и металлогения Тихоокеанских вулканических поясов» / Ред. Г.М. Фрейд. Владивосток: ДВГИ ДВО АН СССР, 1976. С. 108–111.
6. Леонов Ю.Г., Волож Ю.А., Антипов М.П., Быкадоров В.А., Хераскова Т.Н. Консолидированная кора Каспийского региона: опыт районирования / Ред. Ю.Г. Леонов. М.: ГЕОС, 2010, 64 с.
7. Макаров В.И., Макарова Н.В., Несмеянов С.А., Makeev В.М., Дорожко А.Л., Зайцев А.В., Зеленщиков Г.В., Серебрякова Л.И., Суханова Т.В. Новейшая тектоника и геодинамика: области сочленения Восточно-Европейской платформы и Скифской плиты / Ред. Ю.К. Шукин. М.: Наука, 2006. 206 с.
8. Мовшович Е.В. Тектоника // Природные условия и естественные ресурсы. Южный округ. Ростовская область / Ред. Ю.А. Жданов. Р-н-Д: РГУ, 2002. С. 52–74.
9. Мовшович Е.В., Зайцев А.В., Лихачев В.А. Докаменноугольная история развития Донецкого складчатого сооружения // Геологоразведочные работы в Ростовской области. Р-н-Д: РГУ, 1980. С. 9–18.
10. Хераскова Т.Н., Волож Ю.А., Антипов М.П., Быкадоров В.А., Сапожников Р.Б. Корреляция позднедокембрийских и палеозойских событий на Восточно-Европейской платформе и в смежных палеоокеанических областях // Геотектоника. 2015. № 1. С. 31–59. DOI: 10.7868/S0016853X15010026.
11. Bush V.A., Kaz'min V.G. Crystalline basement and fold complex of the Volga-Ural, Pericaspian, and Fore-Caucasus petroliferous basins // Geotectonics. 2008. Vol. 42. N 5. P. 396–409.

REFERENCES

1. *Geologiya SSSR: Rostovskaya, Volgogradskaya, Astrahanskaya oblasti i Kalmyckaya ASSR. Geologicheskoe opisaniye* [Geology of the USSR: Rostov, Volgograd, Astrakhan regions and Kalmyk Autonomous Soviet Socialist Republic. Geological description]. Ed. F.A. Belov. M., Nedra Publ., 1969, vol. XLVI, 666 p. (In Russian).
2. Granovsky A.G. Magmatizm i ehtapy tektonicheskoy ehvolyucii Doneckogo skladchatogo sooruzheniya Vostochnogo Donbassa [Magmatism and Stages of the Tectonic Evolution in the Donets Folded Structure, Eastern Donets Basin]. *Geotektonika* — [Geotectonics], 2018, no. 4, pp. 96–110. DOI: 10.1134/S0016853X18040033. (In Russian).
3. Granovsky A.G., Zajcev A.V., Zelenshchikov G.V., Ryshkov M.M. Etapy geodinamicheskogo razvitiya yuzhnoj okrainy Vostochno-Evropejskoj platformy (territoriya Rostovskoj oblasti) [Stages of geodynamic development of the southern margin of the East European Platform (the territory of the Rostov region)]. *Voprosy geologii i osvoeniya neдр yuga Rossii. Sbornik nauchnykh statej* [Questions of geology and exploration of the subsoil of southern Russia]. Ed. N.N. Pogrebnov. Rostov-on-Don., SSC RAS Publ., 2007, pp. 8–17. (In Russian).
4. Zajcev A.V., Granovsky A.G., Ryshkov M.M., Zelenshchikov G.V. Stroenie i geodinamika dokembrijskikh struktur v zone sochleneniya Voronezhskogo kristallicheskogo massiva i Rostovskogo tektonicheskogo vystupa [Composition and Geodynamics of the Precambrian Structures in the Conjunction Zone of the Voronezh Massif and Rostov Tectonic Uplift]. *Doklady Akademii nauk* [Doklady Earth Science], 2003, vol. 392, no. 1, pp. 81–84. (In Russian).
5. Zelenshchikov G.V., Sokolov V.A., Chernyavskij G.V. Osnovnye cherty stroeniya i proyavleniya magmatizma v platformennyj i subplatformennyj ehtapy razvitiya yugo-vostoka Russkoj plity [Main structural features and magmatism manifestations of the platform and subplatform stages of the southeastern East European Plate]. *Glubinnoe stroenie, magmatizm i metallogeniya Tihookeanskikh vulkanicheskikh poyasov. Tezisy vsesoyuz. simpoziuma* [Deep Structure, magmatism, and Metallogeny of the Pacific Volcanic Belts: Abstracts of Meeting]. Ed. G.M. Fremd. Vladivostok: Dal'nevost. Geol. Inst. Dal'nevost. Otd. USSR Academy of Sciences Publ., 1976, pp. 108–111. (In Russian).
6. Leonov Yu.G., Volozh Yu.A., Antipov M.P., Bykadorov V.A., Heraskova T.N. *Konsolidirovannaya kora Kaspijskogo regiona: opyt rajonirovaniya* [Zoning of Consolidated Crust of the Caspian Region]. Ed. Yu.G. Leonov. M., GEOS Publ., 2010, 64 p. (In Russian).
7. Makarov V.I., Makarova N.V., Nesmeyanov S.A., Makeev V.M., Dorozhko A.L., Zajcev A.V., Zelenshchikov, G.V. Serebryakova L.I., Suhanova T.V. *Novejshaya tektonika i geodinamika: oblasti sochleneniya Vostochno-Evropejskoj platformy i Skifskoj plity* [Recent Tectonics and Geodynamics: Junction Zones of the East European Platform and Scythian Plate]. Ed. Yu.K. Shchukin. M., Nauka Publ., 2006, 206 p. (In Russian).
8. Movshovich E.V. Tektonika [Tectonics], *Prirodnye usloviya i estestvennye resursy. Yuzhnyj okrug. Rostovskaya oblast'* [Natural conditions and natural resources. Southern District. Rostov region]. Ed. Yu.A. Zhdanov. Rostov-on-Don, RSU Publ., 2002, pp. 52–74. (In Russian).
9. Movshovich E.V., Zajcev A.V., Lihachev V.A. Dokamenougol'naya istoriya razvitiya Doneckogo skladchatogo sooruzheniya [Pre-Carboniferous History of the Donets Folded Structure], *Geologorazvedochnye raboty v Rostovskoj oblasti* [Geological work in the Rostov region]. Rostov-on-Don, RSU Publ., 1980, pp. 9–18. (In Russian).
10. Heraskova T.N., Volozh YU.A., Antipov M.P., Bykadorov V.A., Sapozhnikov R.B. Korrelyaciya pozdnedokembrijskikh i paleozoijskikh sobytij na Vostochno-Evropejskoj platforme i v smezhnykh paleookeanicheskikh oblastyakh [Correlation of Late Precambrian and Paleozoic Events in the East European Platform and the Adjacent Paleooceanic Domains]. *Geotektonika* [Geotectonics], 2015, no. 1, pp. 31–59. DOI: 10.7868/S0016853X15010026. (In Russian).
11. Bush V.A., Kaz'min V.G. Crystalline basement and fold complex of the Volga-Ural, Pericaspian, and Fore-Caucasus petroliferous basins, *Geotectonics*, 2008, vol. 42, no. 5, pp. 396–409.

НОВЫЙ ВИД МАКРОФИТНЫХ ВОДОРосЛЕЙ ИЗ ПЕРМСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ СЕВЕРО-ВОСТОКА САМАРСКОЙ ОБЛАСТИ (С. РУССКИЙ БАЙТУГАН)

М.Л. ПАПЕРНЫЙ

ООО Предприятие сервисного обслуживания и защиты газопроводов
163 "а", Карла Маркса пр-т, Самара 443079, Россия
email: max063@yandex.ru

Из нижнеказанского подъяруса окрестностей с. Русский Байтуган (северо-восток Самарской области) описывается новый вид водорослей из формального рода *Algites* Seward, 1894 — *A. samarensis* sp. nov. Случаи нахождения ископаемых палеозойских макрофитных водорослей немногочисленны. Каждая такая находка является важным звеном для анализа эволюции водорослей в целом. Кратко представлен литературный обзор и геологическая характеристика района. Рассмотрен сопутствующий данным водорослям таксономический состав ископаемой фауны из местонахождения, включающий брахиоподы, двустворки, одиночные кораллы, мшанки, криноидеи, а также конулярии. Дано описание морфологических признаков нового вида водорослей и диагноз на английском языке. Приведена характеристика филлотаксиса. На основании полученных в ходе исследования результатов сделан вывод о том, что описываемый новый вид относится к макрофитным колониальным морским водорослям. Проведено сравнение с макрофитными водорослями палеозоя и мезозоя, проанализированы полученные результаты. Отмечено, что основными отличиями новой формы являются дважды дихотомирующий, ровный, тонкий и длинный таллом, а также наличие на нём боковых игловидных «листочков» (веточек) с поясково-мугловатым расположением. Установлено, что захоронение описываемых ископаемых водорослей произошло непосредственно на месте их обитания либо вблизи него в краткий промежуток времени, о чём свидетельствует их хорошая сохранность и отсутствие сильных повреждений.

Ключевые слова: водоросли; пермская система; нижнеказанский подъярус; Самарская область.

DOI:10.32454/0016-7762-2019-1-24-31

A NEW TYPE OF MACROPHYTIC ALGAE FROM PERMIAN DEPOSITS OF THE NORTH-EAST OF THE SAMARA REGION (LOCALITY RUSSKY BAITUGAN)

M.L. PAPERNYI

LTD «Service and protection of gas pipelines enterprise»
163A, Karl Marx Avenue, Samara 443079, Russia
email: max063@yandex.ru

A new species of algae from the formal genus *Algites* Seward, 1894 — *A. samarensis* sp. nov. from the Lower Kazanian substage near the village of Russky Baitugan (northeast of the Samara Region) has been described. The cases of findings of the fossilized Paleozoic macrophytic algae are not numerous. Each such finding is an important link for analyzing the evolution of algae as a whole. The literature review and geological characteristics of the area have been briefly presented. The related taxonomic composition of the fossilized fauna of this location, including brachiopods, bivalves, solitary corals, bryozoans, crinoids, and conularia, has been considered. A description of the morphological features of a new type of algae and a diagnosis in English have been given. The characteristic of phyllotaxy has been presented. On the basis of the results obtained in the course of the study, it has been concluded that the new described species belongs to macrophytic colonial sea algae. A comparison with the Paleozoic and Mesozoic macrophyte algae has been made, and the results have been analyzed. The main differences of the new form are the double dichotomous, even, thin and long thallome with the presence of the side needle-like «leaves», with the whorled location of the «leaves». It has been established that the burial of the described fossil algae occurred in a short period of time directly on the inhabitation or near their habitat. The well preservation of the algae without severe damage is an evidence of this.

Keywords: algae; Permian; Lower Kazanian substage; Samara region.

Изучение фауны и флоры, а также стратиграфии пермских отложений окрестностей с. Байтуган (северо-восток Самарской области) проводилось с середины XIX в., в частности, А.Н. Замятым, А.В. Нечаевым, Н.Н. Форшем и др. [5, 6, 9, 10]. При обилии палеонтологического материала в целом предполагаемые остатки макрофитных водорослей отмечались на стратотипических разрезах казанского яруса по р. Сок в Самарской (ранее — Куйбышевской) области лишь однажды [4].

Согласно Н.Н. Форшу [9], разрез немдинского горизонта (нижнеказанского подъяруса) подразделяется на две приблизительно равные по мощности части. Нижняя представлена почти исключительно морскими слоями и характеризуется обильной и довольно разнообразной морской фауной. В верхней части разреза преобладают лагунные отложения — гипсы, палеонтологически немые, и гипсоносные доломиты, переходящие в восточной части в красноцветные песчано-глинистые, нередко содержащие пресноводную фауну. Раннеказанские отложения образуют три цикла чередования слоёв, построенных по одному плану и имеющих примерно одинаковую мощность [9]. Этим циклам соответствуют (снизу вверх) байтуганские, камышлинские и барбашинские (в более поздних работах [7] — красноярские) слои.

Изученный материал был собран в 2017 г. в карьере (рис. 1), расположенном в 1,5 км от с. Русский Байтуган в Камышлинском районе Самар-

ской области. Хорошая сохранность и наличие редких видов ископаемой фауны и флоры выделяют описываемое местонахождение в палеонтологическом и стратиграфическом плане среди остальных обнажений в ближайших окрестностях. Однако следует отметить, что под воздействием атмосферных (метеорологических) факторов остатки водорослей на вскрытых участках довольно быстро разрушаются.

Стратотипический разрез нижнеказанского подъяруса расположен в верховьях р. Сок у сёл Байтуган и Камышла. Отложения в стратотипической местности образованы тремя повторяющимися циклами седиментации, соответствующими байтуганским, камышлинским и красноярским (барбашинским) слоям.

При полном развитии каждый цикл представлен следующей последовательностью: глина — мергель — (известняк + доломит) — глина. Нижняя граница подъяруса проводится по подошве сероцветных глин или мергелей со скоплением беззачатковых брахиопод *Lingula credneri* (Geinitz, 1848), *Lingula orientalis* (Golowkinsky, 1868). Известняки серые, органогенные или пелитоморфные, часто кавернозные. Доломиты серые пелитоморфные, тонкослоистые. Песчаники серые, полиминеральные, зёрна слабо окатанные. Из карбонатных пород определены фораминиферы *Nodosaria geinitzi* (Stolley, 1892), *Nodosaria netschaewi* Tscherdynzev, *Glomospira gordiformis* (Spandel, 1898) и др. Фауна

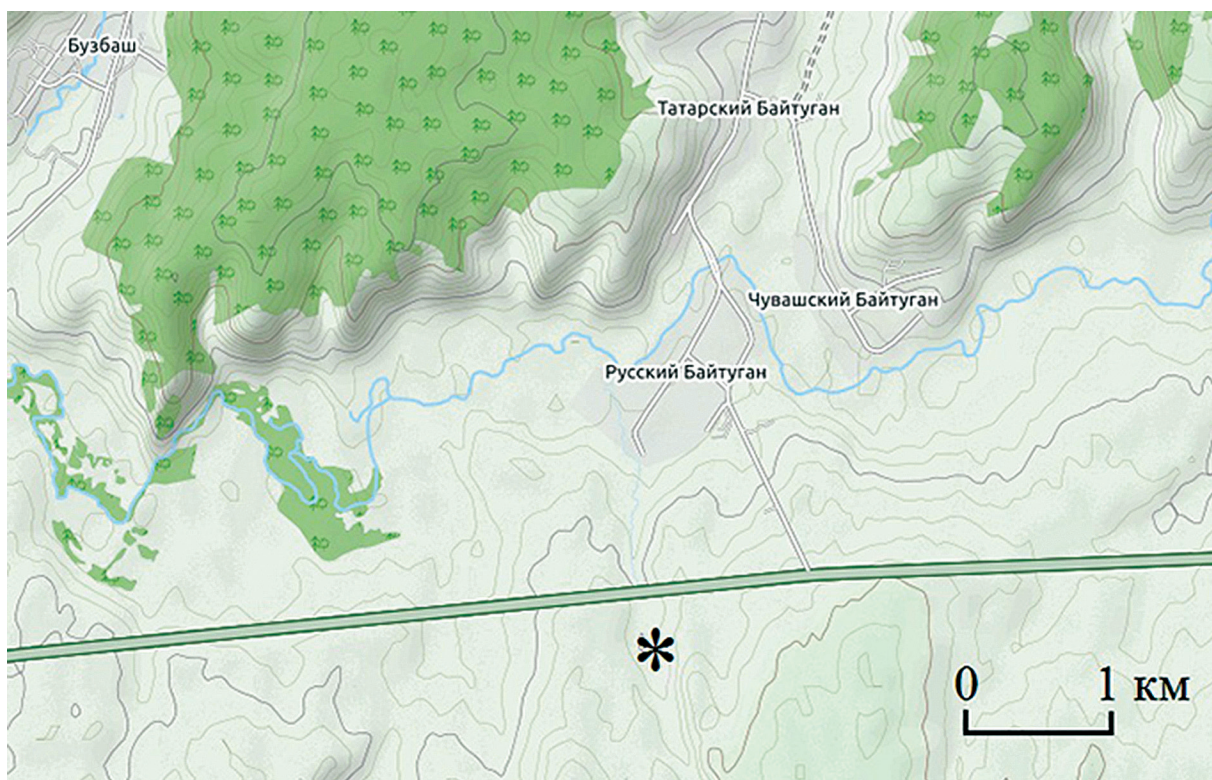


Рис. 1. Местонахождение обнажения нижнеказанского подъяруса в верховьях р. Сок (Самарская обл.). Схема с сайта www.openstreetmap.org с дополнениями, звездочка — обнажение, где был найден слой с *Algites samarensis* sp. nov.

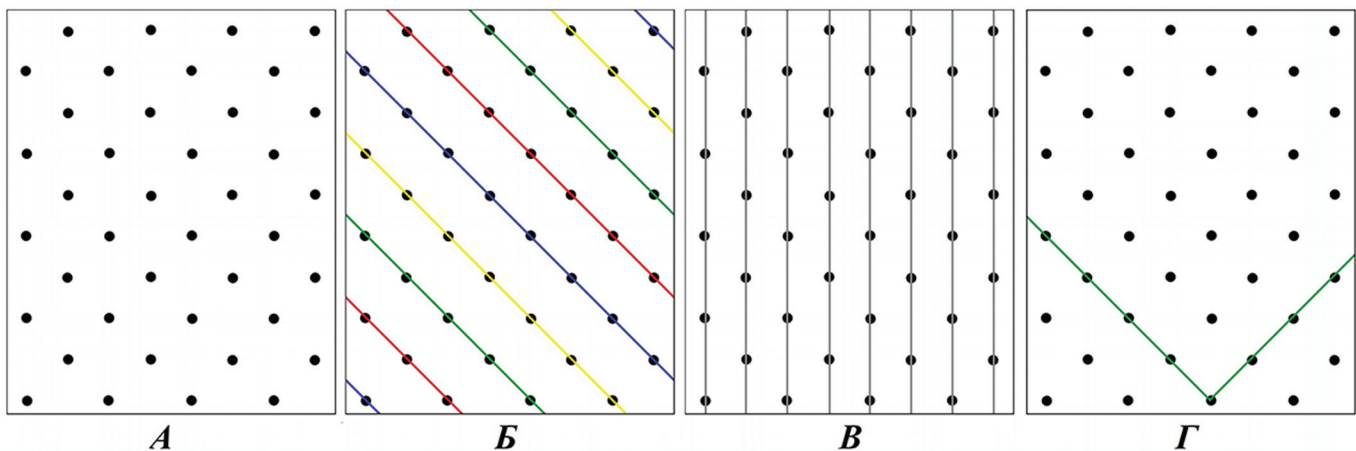


Рис. 2. Графическое изображение основных характеристик филлотаксиса *Algites samarensis* sp. nov.: А — графическое изображение боковых элементов *Algites samarensis*, Б — расположение генетических спиралей и четырехрядных парастихов, В — расположение ортостихов, Г — расположение правой и левой спиралей

брахиопод включает *Licharewia rugulata* (Kutorga, 1842), *Dielasma elongatum* (Schlotheim, 1816) в байтуганской толще и *Tumarinia latiareata* (Netschajew, 1900), *Licharewia stuckenbergi* (Netschajew, 1900) — в камышлинской. Для обеих толщ характерны *Globiella hemisphaerium* (Kutorga, 1844), *Aulosteges horrescens* (Verneuil, 1845), *Aulosteges fragilis* (Netschajew, 1894), *Bajtugania netschaei* Grunt, 1980, а для барбашинской — только *Cancrinella cancrini* (Verneuil, 1845) и *Aulosteges fragilis*, переходящие из камышлинской толщи, а также двустворки *Netschaeuia* sp., *Pseudomonotis garforthensis* (King, 1850). В нижней части немдинского горизонта многочисленны остракоды *Darwinula aronovae* Belousova, *Darwinula inornata* Spizharsky, 1939, *Cavellina* spp. и др., остатки ругоз *Calophyllum columnare* (Schlotheim, 1813), мшанок *Rectifenestella* sp., *Rhombotrypella* sp. и др., криноидей и конулярий *Conularia hollebeni* (Geinitz, 1853) [3].

В нижних глинистых и глинисто-известняковых слоях местонахождения остатки флоры не встречены. Водоросли были отмечены в слое толщиной всего 3—5 см в средней части разреза. Вместе с остатками и отпечатками водорослей, описываемыми ниже как *Algites samarensis* sp. nov. (рис. 2), изредка встречаются брахиоподы *Sokelasma* sp., *Cancrinella cancrini*, *Licharewia* sp., *Orbiculoidea konincki* (Geinitz, 1848), двустворки *Aviculopecten sectilicostatus* (Netschajew) и *Aviculopecten duplicicostatus* (Netschajew), криноидеи и фрагменты конулярий. Относительно часто водорослям сопутствуют беззамковые брахиоподы *Orbiculoidea konincki*. Присутствие беззамковых брахиопод *Orbiculoidea konincki* в нижнеказанском подъярусе Самарской области ранее не отмечалось.

В вышележащих слоях в большом количестве содержатся остатки богатой и разнообразной морской фауны. Известный отсюда фаунистический комплекс включает брахиоподы *Licharewia rugulata*, *Licharewia stuckenbergi*, *Aulosteges horrescens* hor-

rescens (Verneuil, 1845), *Aulosteges horrescens* var. *sokensis* Grigorjewa, 1962, *Globiella hemisphaerium*, *Bajtugania netschaei*, *Cleiothyridina pectinifera* (Sowerby, 1841), *Sokelasma* sp., *Cancrinella cancrini*, *Spiriferellina netschajewi* (E. Ivanova, 1960), двустворки *Aviculopecten rossiensis* (Netschajew, 1894), одиночные кораллы *Polycoelia* sp., неопределимые мшанки и криноидеи, а также конулярии (рис. 3, 4). Состав брахиопод позволяет отнести толщу рассматриваемого местонахождения к нижнеказанскому подъярусу.

В одновозрастных отложениях на р. Сок в Самарской области были найдены отпечатки «своеобразных линейных с волнистыми краями «листьев» [4]. Похожие на них отпечатки также обнаружены на Новой Земле [4]. Было отмечено [4], что верхушка этих «листьев» острая или широко-закруглённая, несимметричная, к основанию лист постепенно сужается, пластинка неровная, шириной 6—17 мм. Средняя жилка отчётливая, проходит в середине листа в виде тяжа, выпуклого с одной стороны отпечатка и вдавленного с другой, почти одинаковой ширины на всем протяжении и лишь постепенно сужается на верхушке листа. Эти растительные остатки были предположительно отнесены к водорослям неясной систематической принадлежности.

Ниже приведено описание остатков водорослей из раннеказанских отложений карьера у с. Русский Байтуган, которые отнесены к новому виду рода *Algites* Seward, 1894.

Класс Phaeophycopsida
Порядок Incertae Sedis
Семейство Incertae Sedis
Род *Algites* Seward, 1894
Algites samarensis Papernyi, sp. nov.
Рис. 5, 1—4

Название вида от г. Самара, Россия.

Голотип — СОИКМ (Самарский областной историко-краеведческий музей им. П.В. Алабина), ВРХ№7976 а—б, отпечаток (а) и противоотпечаток

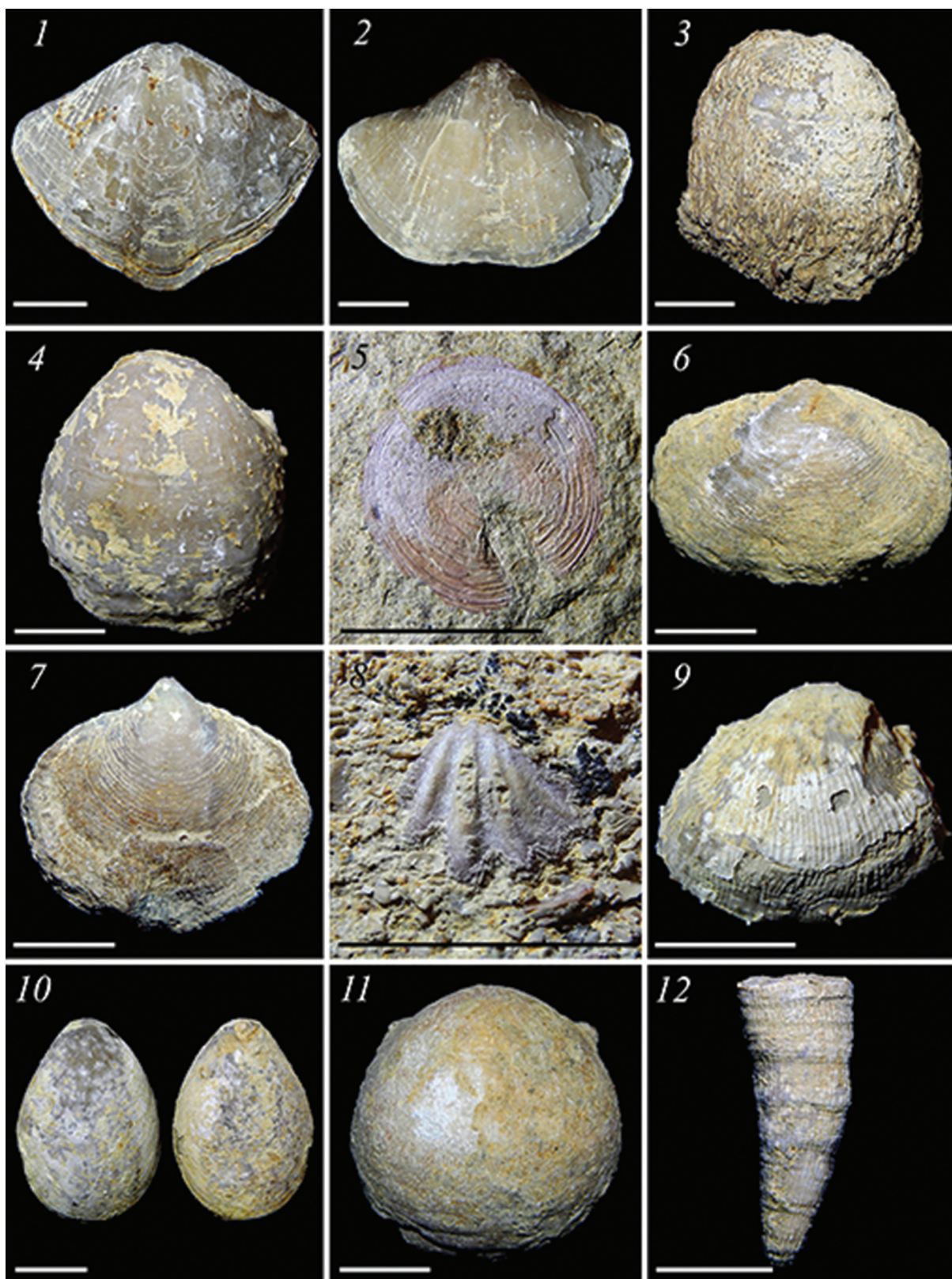


Рис. 3. Представители раннеказанской фауны, встреченные в обнажении с водорослями у с. Русский Байтуган: 1 — *Licharewia rugulata* (Kutorga, 1842), № 42 006; 2 — *Licharewia stuckenbergi* (Netschajew, 1900), № 42 007; 3 — *Aulosteges horrescens horrescens* (Verneuil, 1845), № 42 008; 4 — *Aulosteges horrescens* var. *Sokensis* Grigorjewa, 1962, № 42 009; 5 — *Orbiculoidea konincki* (Geinitz, 1848), № 42 024; 6 — *Bajtugania netschajevi* Grunt, 1980, № 42 010; 7 — *Cleiothyridina pectinifera* (Sowerby, 1841), № 42 011; 8 — *Spiriferellina netschajewi* (E. Ivanova, 1960), № 42 015a; 9 — *Cancrinella cancrini* (Verneuil, 1845), № 42 012; 10 — *Sokelasma* sp., № 42 013; 11 — *Globiella hemisphaerium* (Kutorga, 1844), № 42 014; 12 — *Polycoclia* sp., № 42 023. Длина масштабной линейки 1 см. 42*** — образцы из личной коллекции М.Л. Паперного

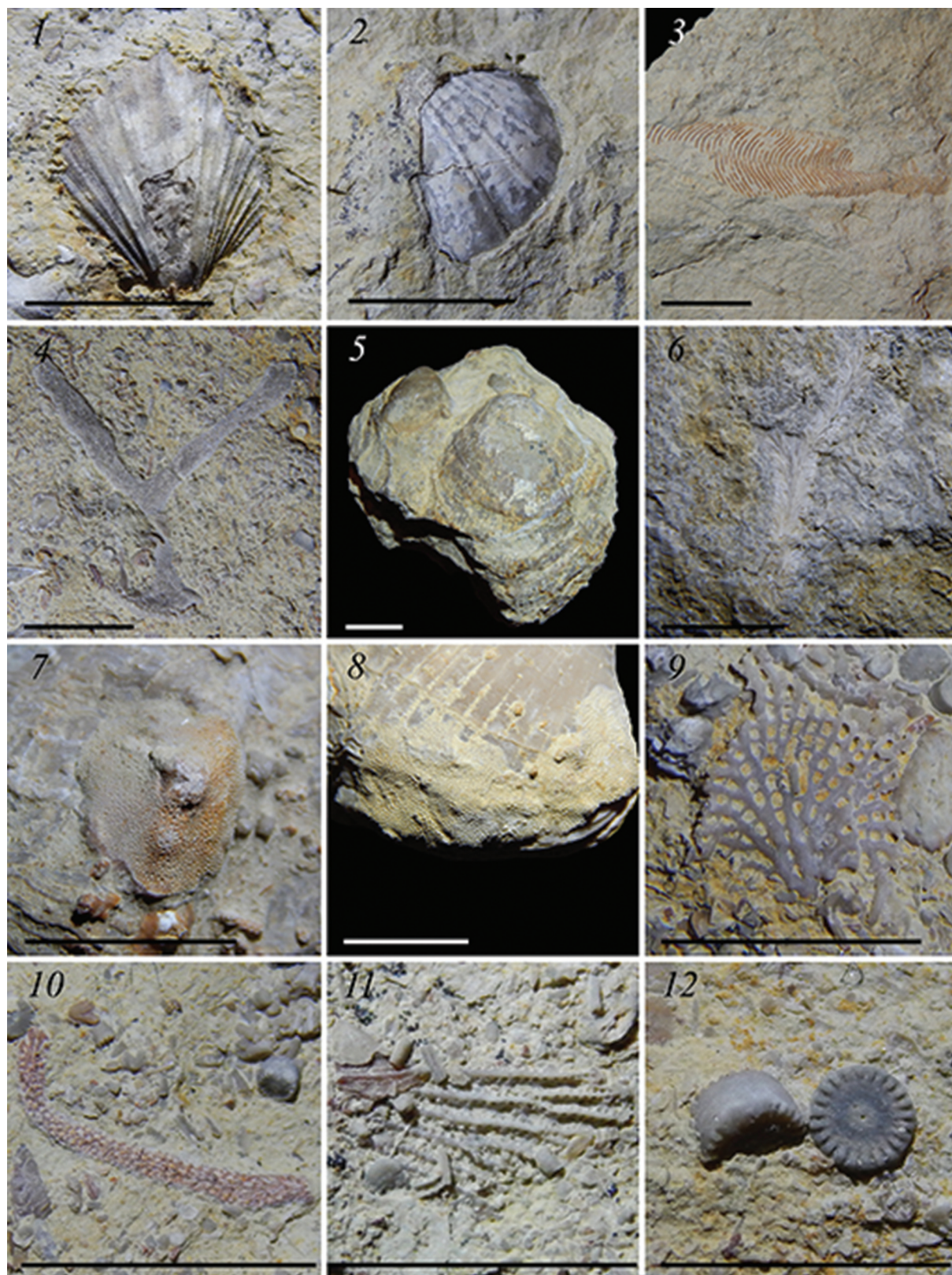


Рис. 4. Представители раннекаспийской фауны, встреченные в обнажении с водорослями у с. Русский Байтуган: 1 — *Aviculopecten sectilicostatus* (Netschajew, 1894), № 42 026; 2 — *Aviculopecten duplicicostatus* (Netschajew, 1894), № 42 031; 3 — *Conularia (Paraconularia) hollebeni* (Geinitz, 1853), № 42 017; 4, 6–11 — мшанки ближе не определенные (4, 9, 10, 11 — № 42 021, 6 — № 42 016, 7 — № 42 019, 8 — № 42 020); 5 — *Aviculopecten rossiensis* (Netschajew, 1894), № 42 018; 12 — членики морских лилий (Crinoidea), № 42 015b. Длина масштабной линейки 1 см

(б) таллома; Самарская обл., Камышлинский район, местонахождение Русский Байтуган; средняя пермь, нижеказанский подъярус.

Diagnosis. The thallus is narrow and long. It is branched and has one or two orders branches. The

location of subparallel needle-like «leaves» is whorled. The «leaves» length that uniformly curved toward the apex of the thallus decreases gradually. The top is «rounded».

Диагноз. Таллом узкий и длинный, с одним или двумя порядками ветвления. Расположение

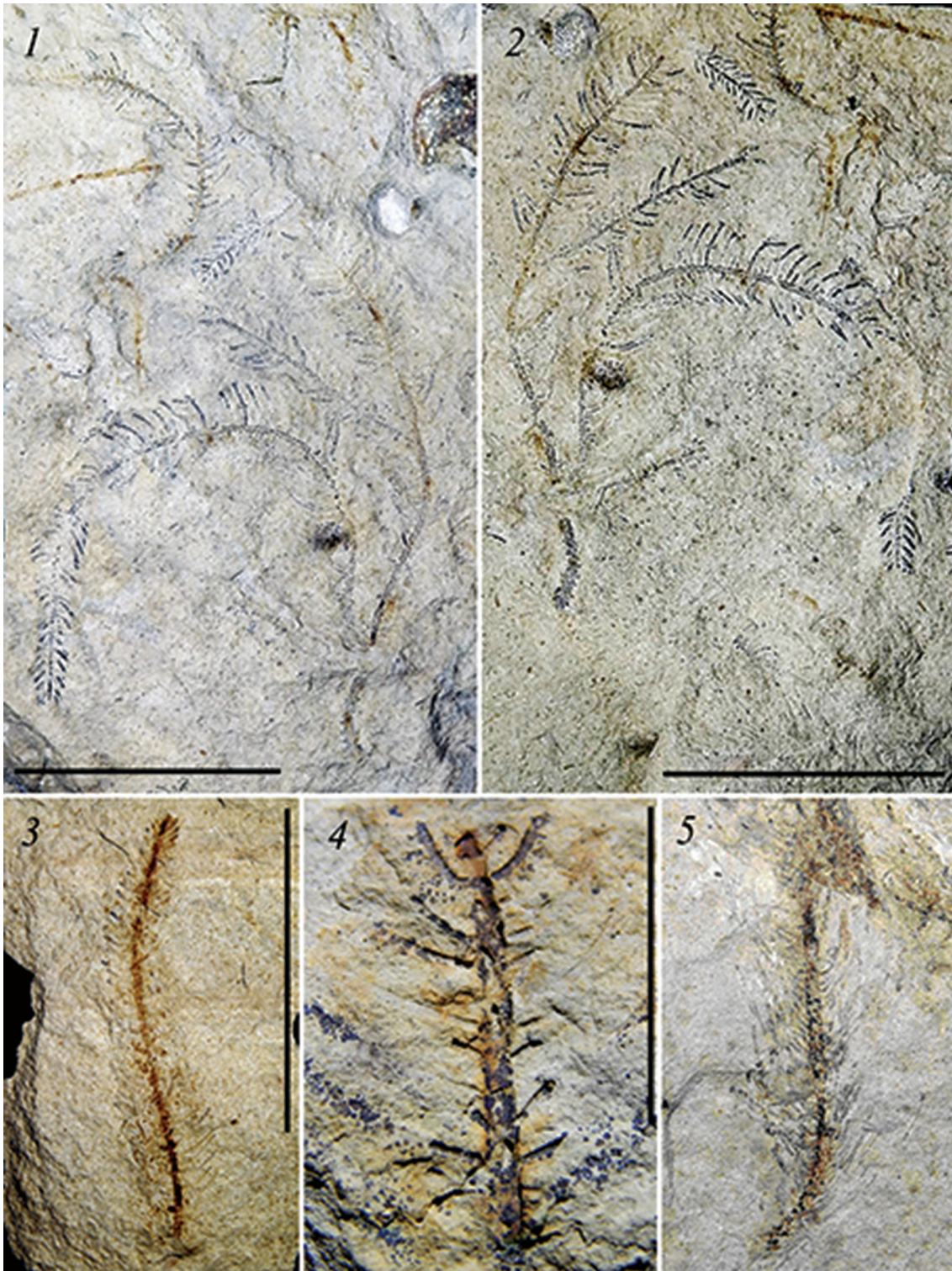


Рис. 5. 1, 2 — голотип *Algites samarensis* Papernyi, sp. nov. (1 — BPX№7976 «a», 2 — № BPX№7976 «б»; отпечаток и противоотпечаток), 3 — *Algites samarensis* sp. nov. (№ 42 004/1), 4 — внутреннее строение *Algites samarensis* sp. nov. (№ 42 005), 5 — *Pseudopiaea gigantea*, Tyroff, 1966 (фото с сайта http://www.amberabg.com/a_for_sale/plant_zd2_permian.html). Длина масштабной линейки 1, 2, 3 — 5 см, 4 — 1 см. BPX№7976 а-б номера временного хранения СОИКМ

субпараллельных игловидных «листочков» поясково-мутовчатое. Длина «листочков», равномерно изогнутых в сторону верхушки слоевища, плавно уменьшается. Верхушка «закруглённая».

Описание. Таллом состоит из ризоида и узкого, длинного слоевища, разветвлён, имеет два порядка ветвления. На слоевище находятся субпараллельные симметричные боковые игловидные «листочки» (конечные сегменты) длиной до 12 мм и шириной 0,4–0,7 мм, плавно изогнутые в сторону верхушки. Расположение «листочков» поясково-мутовчатое (рис. 5, 4). На каждом уровне располагается по четыре «листочка», причем «листочки» следующего уровня повернуты примерно на 45° относительно «листочков» предыдущего. На 10 мм длины таллома приходится до 52 «листочков». Длина боковых «листочков» ближе к вершине слоевища плавно уменьшается. Верхушка «закруглённая» (рис. 5, 3). Слоевище водоросли полое (по-видимому, оно являлось своеобразным пневматофором, который помогал удерживать в воде ветвь вертикально). Стенки слоевища тонкие и ровные. Из слоевища в «листочки» также ведут полые каналы (рис. 5, 4).

В одном узле слоевища имеется четыре «листика» (рис. 2, А), указывая на наличие у водоросли четырёх генетических спиралей (рис. 2, Б). Угол дивергенции равен 0,125 части окружности, что составляет 45°; «листки» в таком случае располагаются в критических точках. Следовательно, четырёхрядные парастихи новой водоросли не имеют изомерии, т. е. не являются ни правыми, ни левыми (рис. 2, Г). Ортостихов насчитывается восемь рядов (рис. 2, В). Доминирующая парастиха, расположенная по оси слоевища, в то же время представляющая собой и ортостиху, является инвариантной к изменению относительной длины междоузлия. Таким образом, расположение «листочков» имеет ортостихийный характер [1]. Из-за отсутствия образцов лучшей сохранности дать более точную и полную характеристику филлотаксиса не представляется возможным. В поперечном сечении слоевище имело округлую форму. Ризоид, присутствующий на голотипе, представляет собой утолщение в начале таллома с небольшими отростками чёрного цвета, зрительно увеличивающими его ширину. Видимо, тонкие нитевидные образо-

вания ризоида не сохранились в силу условий захоронения.

Сравнение. Отличается от *A. codiumiformis* Teslenko, 1986 из байосских отложений Крымского п-ова [8] отсутствием базального диска в основании, утрикул, наличием узкого, длинного, дихотомирующего слоевища, а также поясково-мутовчатым расположением «листочков». От *A. magnus* Teslenko, 1982 из байосских отложений Крымского п-ова [8], *A. subtilis* Teslenko, 1982 из ааленских отложений Крымского п-ова [8] и *A. shurtanensis* Naugolnykh, 2017, из отложений Шуртанской свиты кунгурского яруса Пермского края [11] новый вид отличается наличием «листочков». Дополнительными отличиями от *A. subtilis* являются ровное, некустистое слоевище, дихотомирующее лишь несколько раз, от *A. shurtanensis* — узкое и длинное слоевище, более широкий таллом, а от *A. magnus* — более узкое слоевище. От *A. philippiensis* Naugolnykh, 2017, из отложений филипповского горизонта кунгурского яруса Пермского края [11] отличается отсутствием терминальных капсул яйцевидной формы, более частыми симметричными боковыми игловидными «листочками» с поясково-мутовчатым расположением на талломе.

Замечания. Главным отличием описываемого вида от остатков предполагаемых водорослей, описанных в [2, 4], является наличие множественных «листочков» с поясково-мутовчатым расположением.

Новая форма отличается от внешне схожего вида пермских водорослей *Pseudopiaea gigantea*, Tyroff, 1966, из верхнепермских отложений Германии (рис 5, 5) меньшей шириной таллома при более коротких и толстых боковых «листочках» (веточках), расположение которых не супротивное, а поясково-мутовчатое и более редкое, в отличие от *P. gigantea*, а также отсутствием на центральном талломе бокового ответвления, заканчивающегося яйцевидной капсулой, имеющей, по всей вероятности, репродуктивную функцию.

Округлые в сечении слоевища нового вида в силу тафономических особенностей сохранились в исключительно редких случаях. Основная масса остатков обладает сильно деформированным, практически уплощенным слоевищем. Ещё одна осо-

Сравнительные характеристики наиболее полных образцов *Algites samarensis* sp. nov.

Номер образца	Длина таллома, мм	Ширина таллома, мм		Длина «листьев», мм	Ширина «листьев», мм
		min	max	max	max
ВРХ№7976 «а»	139	0,8	1,2	9,3	0,4
42 002/1	131	1	1,2	8	0,6
42 003/2a	146	0,6	1,2	7,5	0,4
42 003/2b	94	0,9	0,9	9	0,5
42 004/1	67	0,7	1,3	8,2	0,5

бенность захоронения *Algites samarensis* заключается в том, что все слоевища располагаются в одной плоскости. Вероятно, при захоронении они легли на дно при отступлении воды. Большинство талломов находится в изогнутом состоянии и только изредка встречаются в прямом.

Отпечатки водорослей описываемого вида окрашены в чёрный цвет оксидами марганца или в охристый оксигидроксидами железа. Самые крупные экземпляры имеют длину таллома более 180 мм и толщину более 1,7 мм. Сравнительные характеристики наиболее полных образцов представлены в таблице. Очевидно, водоросли были захоронены непосредственно *in situ* либо вблизи места их обитания, об этом говорит отсутствие на их слоевище каких-либо значимых повреждений перед захоронением в осадке. Исходя из имеющегося материала, можно сделать вывод, что описываемый новый вид относится к макрофитным многоклеточным колониальным морским водорослям. Особенности морфологии позволяют легко определять и

отличать новую форму от других видов водорослей даже во фрагментарном материале.

Распространение. Средняя пермь, ниже-казанский подъярус; Среднее Поволжье, Россия.

Материал. Помимо голотипа, более 10 образцов хорошей сохранности из типового местонахождения.

Автор выражает искреннюю признательность профессору РАН С.В. Наугольных, ведущему научному сотруднику ПИН РАН И.В. Новикову, директору Геолого-минералогического музея СамГТУ А.А. Сидорову, председателю Самарского палеонтологического общества В.П. Морозу за ценные замечания и помощь в работе над статьей, Р.Ю. Шамаеву (Рыбинск) за помощь в определении брахиопод, А.С. Агибалову (Самара) за помощь в организации экспедиций, ресурсу палеонтологический портал Аммонит.ру <https://www.ammonit.ru> за платформу для общения с ведущими специалистами и любителями палеонтологии, а также семье и друзьям за понимание, поддержку и помощь в экспедициях.

ЛИТЕРАТУРА

- Брынцев В.А. Филлотаксис. Опыт применения компьютерных моделей для решения вопросов теоретической морфологии растений. М.: ФГУ УМЦ, 2006. 112 с.
- Варюхина Л.М., Канев Г.П., Колода Н.А., Молин В.А., Фефилова Л.А. Корреляция разнофациальных разрезов верхней перми севера европейской части СССР. Л.: Наука, 1981. 160 с.
- Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:200000. Серия Средневолжская. Листы N-39-XV (Нурлат), N-39-XVI (Шентала). Объяснительная записка. М.: МПР России, Нижневолжскгеология, 1998. 112 с.
- Калашников Н.В., Молин В.А., Фефилова Л.А. и др. Пермские отложения Новой Земли. Л.: Наука, 1981. 152 с.
- Нечаев А.В., Замятин А.Н. Геологические исследования северной части Самарской губернии. СПб.: Тр. геологического комитета, 1913. Вып. 84. 208 с.
- Нечаев А.В. Верхнепермские отложения // Геология России / Петроград: 23-я Государственная типография, 1921. Т. II. Ч. V. Вып. 3. 126 с.
- Солодухо М.Г. Обоснование подразделения казанского яруса на горизонты // Мат. по стратиграфии верхней перми на территории СССР / М.Г. Солодухо, Е.И. Тихвинская. Казань, 1977. С. 187–219.
- Тесленко Ю.В., Яновская Г.Г. Среднеюрская флора Горного Крыма. Киев: Наук. думка, 1990. 160 с.
- Форш Н.Н. Стратиграфия и фации казанского яруса Среднего Поволжья // Геология Поволжья / Ред. В.С. Моисеенко. Тр. ВНИГРИ. Вып. 45. Л.: Гостоптехиздат, 1951. С. 34–81.
- Форш Н.Н. Пермские отложения: Уфимская свита и казанский ярус // Волго-Уральская нефтеносная область / Тр. ВНИГРИ. Вып. 92, Л.: Гостоптехиздат, 1955. 156 с.
- Naugolnykh S.V. Lower Kungurian shallow-water lagoon biota of the Middle Cis-Urals, Russia: towards the paleoecological reconstruction // *Global Geology*, 2017, Vol. 20 (1). P. 1–13.

REFERENCES

- Bryntsev V.A. *Phyllotaxis. The experience of using computer models for solving problems of theoretical plant morphology*. Moscow, FGU UMTs Publ., 2006, 112 p. (In Russian).
- Varyukhina L.M., Kanev G.P., Koloda N.A., Molin V.A., Fefilova L.A. *Correlation of diverse facies sections of the upper Permian in the North of the European part of the USSR*. Leningrad, Nauka Publ., 1981, 160 p. (In Russian).
- The state geological map of the Russian Federation. Scale 1: 200000. Series The Middle Volga. Sheets N-39-XV (Nurlat), N-39-XVI (Shentala). Explanatory note. Moscow, MPR Russia, Nizhnevolszhskgeologiya Publ., 1998, 112 p. (In Russian).
- Kalashnikov N.V., Molin V.A., Fefilova L.A. and others. *Permian deposits of the New Earth*. Leningrad, Nauka Publ., 1981, 152 p. (In Russian).
- Nechaev A.V., Zamyatin A.N. *Geological studies of the Northern part of the Samara province*. Saint-Petersburg, Proceedings of the geological Committee, issue 84, 1913, 208 p. (In Russian).
- Nechaev A.V. *Upper Permian deposits. Geology of Russia*, Petrograd, 23rd State Printing House Publ., vol. II, part. V, issue 3, 1921, 126 p. (In Russian).
- Solodukho M.G. Justification of the division of the Kazan tier on the horizons. *Materials on the stratigraphy of the Upper Permian on the territory of the USSR*. Ed. MG. Solodukho, E.I. Tikhvinskaya. Kazan, 1977, pp. 187–219. (In Russian).
- Teslenko Yu.V., Yanovskaya G.G. *Middle Jurassic flora of the Crimea Mountains*. Kiev, Naukova Dumka Publ., 1990, 160 p. (In Russian).
- Forsh N.N. *Stratigraphy and facies of the Kazanian stage of the Middle Volga region*. Leningrad, Gostoptekhizdat, 1951, (Tr. VNIGRI. Geology of the Volga region. issue 45), Ed. V.S. Moiseenko, pp. 34–81. (In Russian).
- Forsh N.N. *Permian deposits: Ufa retinue and Kazanian stage*. Leningrad, Gostoptekhizdat, 1955, (Tr. VNIGRI. Volga-Ural oil-bearing region. issue 92), 156 p. (In Russian).
- Naugolnykh S.V. Lower Kungurian shallow-water lagoon biota of the Middle Cis-Urals, Russia: towards the paleoecological reconstruction. *Global Geology*, 2017, vol. 20, no. 1, pp. 1–13.

МИНЕРАЛОГИЯ, ПЕТРОГРАФИЯ, ЛИТОЛОГИЯ

УДК 553.8 (470.621)

**МИНЕРАЛЬНЫЙ СОСТАВ И ГЕМОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕИСТИКИ
ЮВЕЛИРНО-ПОДЕЛОЧНЫХ АММОНИТОВ РЕСПУБЛИКИ АДЫГЕЯ**

Д.А. ПЕТРОЧЕНКОВ

*ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе»
23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия
e-mail: p-d-a@mail.ru.*

Впервые приведены данные по минеральному составу и геммологические характеристики ювелирно-поделочных аммонитов Республики Адыгея. Аммониты состоят преимущественно из кальцита с включениями кварца, глауконита, каолинита, арагонита, пирита, апатита и гематита. Стенки и перегородки раковин преимущественно утратили исходный арагонитовый состав и состоят из кальцита с включениями пирита и апатита. Арагонит сохраняется фрагментарно в стенках и перегородках раковин. Из элементов-примесей кальцит содержит в среднем, мас. %: Mg 0,62, Mn 0,31 и Fe 1,26. Цвет и прозрачность кальцита определяется структурными особенностями кристаллов и минеральными включениями. Аммониты Республики Адыгея имеют широкий диапазон размеров и связаны с отложениями нижнего мела. По декоративности и технологическим характеристикам аммониты могут использоваться в качестве ювелирно-поделочного материала для изготовления широкого ассортимента изделий.

Ключевые слова: ювелирно-поделочное сырьё; ювелирные изделия; аммониты; кальцит; нижнемеловые отложения.

DOI:10.32454/0016-7762-2019-1-32-38

**MINERAL COMPOSITION AND GEMOLOGICAL CHARACTERISTICS
OF JEWELRY-ORNAMENTAL AMMONITES OF THE REPUBLIC OF ADYGEA**

D.A. PETROCHENKOV

*Russian State Geological Prospecting University
23, Miklouho-Maklay's street, Moscow 117997, Russia
e-mail: p-d-a@mail.ru*

For the first time, data on the mineral composition and gemological characteristics of the jewelry-ornamental ammonites of the Republic of Adygea have been presented. Ammonites consist mainly of the calcite with inclusions of quartz, glauconite, kaolinite, aragonite, pyrite, apatite and hematite. The walls and partitions of the shells mainly lost the original aragonite composition and consist of calcite with inclusions of pyrite and apatite. Aragonite is preserved fragmentary in the walls and partitions of the shells. Calcite contains some elements-admixture, which average volumes, (wt. %), are: Mg 0,62, Mn 0,31 and Fe 1,26. The color and transparency of calcite is determined by the structural features of the crystals and mineral inclusions. Ammonites of the Republic of Adygea have a wide range of sizes and are associated with sediments of the lower Cretaceous. According to the decorative and technological characteristics ammonites can be used as a jewelry-ornamental material for the production of a wide range of ware.

Keywords: jewelry and ornamental raw materials; jewelry; ammonites; calcite; Lower Cretaceous sediments.

В последние десятилетия высоким спросом на мировом рынке стали пользоваться коллекционные и интерьерные аммониты, а также изделия из них. В ряде стран (Марокко [8], Мадагаскар [10, 11]) аммониты являются важным элементом экспорта. Высоко ценятся канадские аммониты с яркой цветной иризацией ископаемого перламутра [9]. Аммониты, а также изделия из них поступают на российский и мировой рынки из ряда областей РФ [1, 6, 7]. Попутно с аммонитами добываются и другие виды ювелирно-поделочного сырья, основными из которых являются септарии.

Аммониты интерьерного и ювелирно-поделочного качества известны и в Республике Адыгея. Автором впервые приведены результаты их детального минералогического, геохимического и геммологического исследований.

Методы исследования

Комплекс исследований аммонитов проведён на кафедре минералогии и геммологии МГРИ, в ФГУП «ВИМС» и ИГЕМ (РАН). Он включал определение микротвёрдости, люминесценции, описание прозрачных шлифов, количественное определение химического и минерального составов, электронно-микроскопические и электронно-зондовые исследования.

Количественное определение химического состава выполнено методом рентгеноспектрального флуоресцентного анализа (РФА). Минеральный состав устанавливался рентгенографическим количественным фазовым анализом (РКФА) на установке «X° Pert PRO MPD». Измерение микротвёрдости проведено на микротвердомере «ПМТ-3» с нагрузкой весом 50 г и выдержкой 15 с. Люминесценция изучалась под ультрафиолетовой лампой «Multispec System Eickhorst» с λ 250 и 365 нм. Описание прозрачных шлифов проведено под микроскопом «Полам Р-112». Электронно-зондовые исследования выполнены на микроанализаторе «Jeol JXA-8100», позволяющим определять содержание элементов методом локального рентгеноспектрального микроанализа (РСМА), провести

анализ образцов в обратнорассеянных электронах (ОРЭ). Электронно-микроскопическое изучение образцов проведено на растровом электронном микроскопе (РЭМ) «Tesla BS-301».

Стратиграфическое положение аммонитов

Аммониты, поступающие на рынок, собираются преимущественно в долине р. Белая и её левых притоках — реках Полковническая, Курджипс, Пшеха, которые находятся на территории Республики Адыгея и частично на прилегающих территориях Краснодарского края. Аммониты интерьерного и ювелирно-поделочного качества связаны с верхнеаптскими отложениями нижнего мела [2].

Верхний аптский подъярус (K_1a_2). В нижней части разреза залегает конгломерат буровато-серого цвета мощностью до 0,8 м. Конгломерат состоит из гальки кварца, сидерита, известняка, конкреций ожелезнённого глинистого песчаника размером до 20 см. Выше залегают глины и алевролиты, а в верхней части разреза расположены тёмно-серые и желтовато-серые кварцево-глауконитовые алевролиты и мелкозернистые песчаники, содержащие горизонты известковистых конкреций и септарий удлинённо-овальной формы, размером до 2 м (рис. 1, а, б). Мощность отложений до 110 м. Верхнеаптские отложения перекрываются песками палеогена. Встречаются аммониты: *Zurcherella*, *Colombiceras* (рис. 1, в), *Pseudohaploceras*, *Ammonitoceras*, *Lytoceras* и др. Гетероморфные аммониты представлены: *Helycancyloceras*, *Diadochoceras*, *Hamites* и др., а наутилусы: *Sumatoceras* [3–5].

Аммониты хорошей сохранности встречаются только в известковистых конкрециях (рис. 1, в). Раковины сохраняют перламутровый слой, частично или полностью минерализованны (рис. 1, в; 2, а, б). Конкреции плотные, разбиваются с большим трудом, что требует использования специального инструмента. Конкреции могут содержать аммониты, в том числе и в большом количестве, а могут быть «пустыми». По внешнему виду они не различаются. Для аммонитов характерен широкий

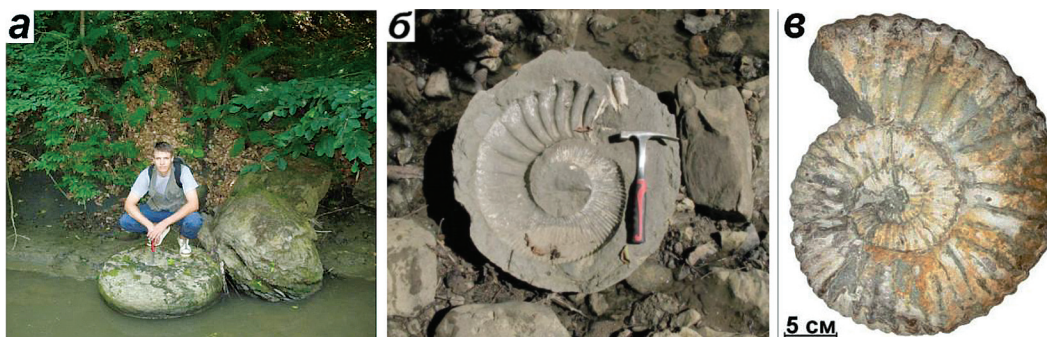


Рис. 1. Крупные конкреции, вымытые из верхнеаптских отложений в приустьевой части р. Полковническая (а); отпечаток крупного аммонита в известковистой конкреции (б) и аммонит рода *Colombiceras* (в)



Рис. 2. Продольный (а) и поперечные (б) полированные распилы аммонитов; кабошоны, изготовленные из фрагментов аммонитов (в)

диапазон размеров. В основном размер аммонитов 5—15 см, отдельные экземпляры достигают 1 м. Наutilus по декоративности близки к аммонитам. Их размер не превышает 20 см, обычно менее 10 см. Небольшие до 5 см в диаметре раковины ювелирного качества могут использоваться в виде продольных полировок (рис. 2, а), фрагменты крупных — для изготовления поперечных срезов и кабошонов (рис. 2, б, в). Крупные аммониты используют в ландшафтном дизайне, в интерьере помещений для изготовления столешниц, мозаичных панно.

В тёмно-серых глинах также встречаются аммониты, но в отличие от аммонитов из конкреций, они не минерализованы, в результате легко разрушаются. Иногда в конкрециях встречаются обломки окаменелого дерева, преимущественно карбонатного состава. Оно не плотное, легко разрушается и в качестве ювелирно-поделочного материала непригодно.

Верхнеаптские отложения широко распространены на территории и дренируются многочисленными реками и ручьями. В результате в русло поступает ежегодно большой объём конкреций с фоссилиями (рис. 1, а), что позволяет без капитальных вложений осуществлять их добычу, не нарушая экологию среды.

Результаты исследований

По данным РКФА аммониты состоят на 96—97 мас. % из кальцита. Стенки и перегородки раковин также состоят на 96 мас. % из кальцита и в небольшом количестве — до 4 мас. %, в них сохраняется арагонит. В минерализованных неразрушенных камерах кальцит составляет от 95 до 100 мас. %. Совместно с ним может присутствовать пирит до 5 мас. %. Мергель, выполняющий жилы и разрушенные камеры, состоит из (мас. %): кальцита 74, кварца 18, глауконита 3, каолинита 2, присутствуют гематит <1, пирит 1, апатит 1. Кальцит имеет формулу $Mg_{(0,064)}Ca_{(0,936)}(CO_3)$, что позволяет отнести его к магнезиальной разновидности.

В аммонитах фиксируется небольшое количество элементов-примесей с низкими содержаниями (мас. %) Sr до 0,059, Ba до 0,031. В интервале 0,001—0,01 мас. % фиксируются Ni, Cu, Zn, Y. Содержания радиоактивных и канцерогенных элементов находятся на уровне фоновых.

Раковины аммонитов по минеральному составу и структурным особенностям можно разделить на три структурных элемента: стенки и перегородки, неразрушенные камеры, выполненные кальцитом, жилые и разрушенные камеры, выполненные мергелем.

Ширина стенок раковины мелких аммонитов до 1 мм, крупных — достигает 3 мм, а при косых срезах увеличивается до 5 мм, особенно на участках срастания с перегородками. Перламутровый слой часто не сохраняется, и на внешних поверхностях ядер проявляются лопастные линии. Сохранившийся перламутровый слой в одних случаях легко разрушается при механическом воздействии, в других — устойчив, скалывается послойно. Цвет внешних стенок раковины белый, серовато-белый и светло-коричневый, оранжевый, связанный с оксидами железа. Блеск матовый. Иризация отсутствует. Внешняя сторона раковин с ювелирной точки зрения интереса не представляет.

Поперечный срез стенок преимущественно коричневого, реже светло-серого цвета различных оттенков. В широких стенках иногда наблюдается слоистая зональность. Центральная часть коричневого цвета, просвечивающая, тонкие краевые слои непрозрачные, светло-серого или чёрного цветов. Поперечный срез перегородок светло-серой, светло-коричневой окраски, в отдельных фрагментах — до чёрного. Стенки сифона преимущественно чёрного цвета.

Плотность стенок раковин определяется минеральным составом и колеблется от 2,6 до 3,1 г/см³. Люминесценция стенок и перегородок раковин не наблюдается. Микротвёрдость стенок и перегородок раковин преимущественно кальцитового состава в среднем составляет 225 кг/мм², апатитового — возрастает до 473 кг/мм².

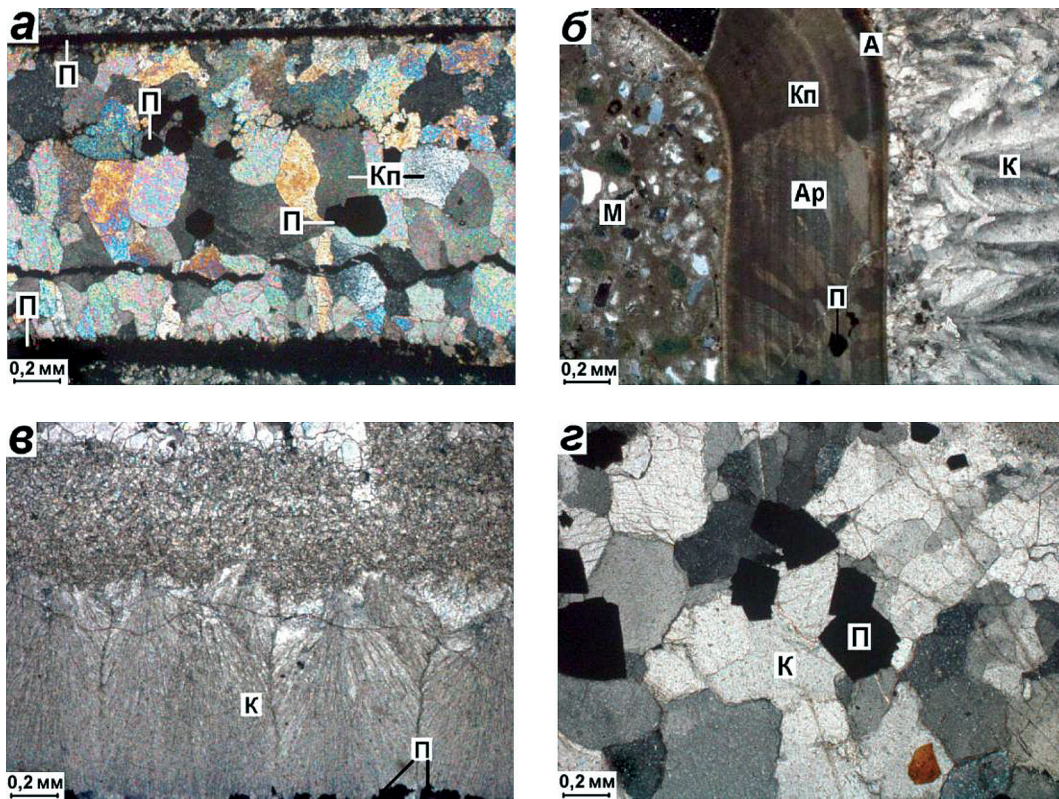


Рис. 3. Прозрачные шлифы фрагментов аммонита, (с анализатором): *а-б* — стенки аммонитов в различной степени замещённые кальцитом и апатитом с примыкающими слоями кальцита; *в-г* — камеры, выполненные кальцитом различного размера и структуры. Ар — арагонит, Кп — кальцит, выполняющий стенки и перегородки, К — кальцит, выполняющий камеры, А — апатит, П — пирит, М — мергель

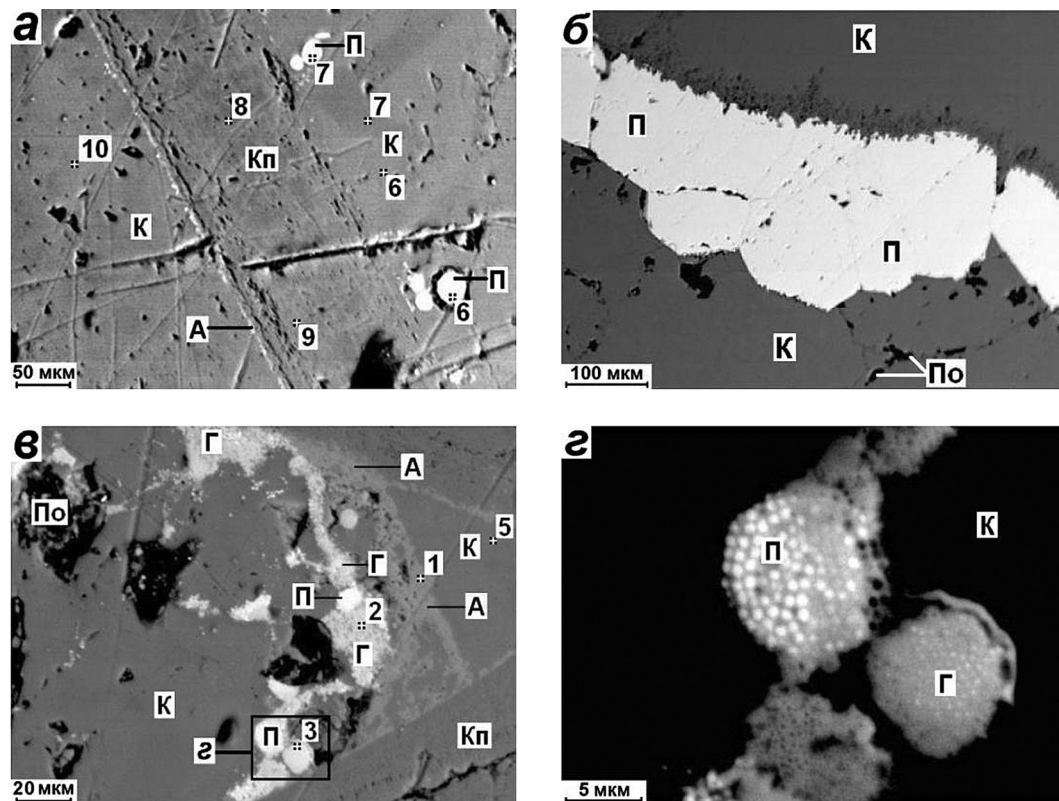


Рис. 4. Перегородка аммонита с примыкающими слоями кальцита (*а*); прожилки пирита в кальците (*б*); кальцит с включениями пирита, апатита, оксида Fe (*в*); включения глобулярного пирита и оксида Fe в кальците (*г*). Микрозонд, ОРЭ. К — кальцит, выполняющий камеру, Кп — кальцит, выполняющий перегородку, П — пирит, А — апатит, По — поры, Г — оксиды Fe, г — участок детализации, 1-6 — номера спектров

Стенки и перегородки аммонитов практически утратили исходные арагонитовые слои, которые замещены преимущественно кальцитом с сохранением их контуров (рис. 3, *а*). Кристаллы кальцита разноориентированы, угловатой формы, размером 0,1×0,3 мм. В кальците присутствуют кристаллы пирита размером от 0,05 до 0,25 мм. Пирит образует тонкие 0,05—0,15 мм прожилки по контактам стенки раковины. Кристаллы в прожилках тонкодисперсные, кристаллографические формы не выражены. Пирит также развивается по микротрещинам в виде дендритов. Совместно с пиритом присутствует и дисперсный апатит.

Стенки и перегородки в ОРЭ имеют неоднородное строение и большое количество мелких пор — 1—10 мкм, которые преимущественно выполнены кальцитом (рис. 4, *а*). Кальцит имеет нечётко выраженную пятнистую окраску, обусловленную неоднородностью химического состава. Данными РСМА фиксируются зоны с низкими содержаниями Mg, Mn, Fe и относительно высокими содержаниями (мас. %) Sr — до 0,26 и Na — до 24, при повышенных количествах Ca — до 38,28, указывающих на присутствие арагонита. В зонах контактов развиваются включения апатита, пирита, проходят тонкие 1—2 мкм микротрещины, которые пересекают перегородку и стенку раковины. Включения пирита округлой формы с нечёткими контурами размером 1—20 мкм. Включения апатита также округлой формы с нечёткими контурами размером 1—3 мкм (рис. 4, *а*).

Ряд перегородок и стенок раковин выполнен преимущественно разномасштабным кальцитом с сохранением и фрагментов исходного арагонита (рис. 3, *б*). В центральных частях таких стенок кальцит более крупный, размером до 0,5 мм, изометричной формы, разноориентированный, что отражается в мозаичном угасании. В краевых частях размер кристаллов кальцита не превышает 0,2 мм. С ним ассоциируют и дисперсные выделения апатита. Апатит развивается также и в микротрещинках центральных частей стенки. В стенке присутствуют кристаллы пирита размером до 0,3 мм.

При их срастании образуются протяженные до 1,5 мм выделения, приуроченные к трещинкам. Отдельные участки стенки раковины, частично замещённые дисперсным кальцитом и апатитом, сохраняют исходную слоистую структуру арагонита (рис. 3, *б*). Неразрушенные фрагменты стенки аммонита состоят из пластинчатого арагонита с характерной слоистой структурой. Кристаллы шириной 3—5 мкм и толщиной менее 1 мкм (рис. 5, *а*). Кальцит, выполняющий неразрушенные камеры, преимущественно коричневого цвета различных оттенков, реже серый, серовато-белый, светло-жёлтый и бесцветный. Прозрачность кальцита также находится в широком диапазоне. Полупрозрачные участки характерны для бесцветного и коричневого кальцита, расположенного в центральных частях камер. Слои кальцита, примыкающие к стенкам и перегородкам камер, непрозрачные. На границе слоёв часто наблюдаются выделения тонкозернистого пирита, имеющего на полированной поверхности металлический блеск. Совместно с пиритом присутствуют чёрные включения апатита и оксидов железа. Для аммонитов включения пирита не характерны, в редких случаях они образуют тонкие прожилки. Текстура кальцита, выполняющего камеры, блочно-мозаичная, зонально-слоистая, обусловленная его различной окраской. В разрушенных камерах, выполненных обломками перегородок, мергелем и разноокрашенным кальцитом, наблюдается брекчиевая текстура.

Кальцит плотный, раскалывается с образованием неровного и раковистого излома. В слоях, образованных крупными кристаллами, наблюдается спайность. Блеск стеклянный, матовый. Кальцит легко полируется до зеркального блеска. Плотность кальцита колеблется от 2,6 до 2,8 г/см³. Микротвёрдость бесцветного просвечивающего кальцита составляет 190 кг/мм², светло-жёлтого, просвечивающего — 227 кг/мм², светло-коричневого, непрозрачного — 225 кг/мм². Микротвёрдость кальцита возрастает с увеличением размера кристаллов и уменьшением количества пор. Люминесценция основной массы кальцита не наблю-

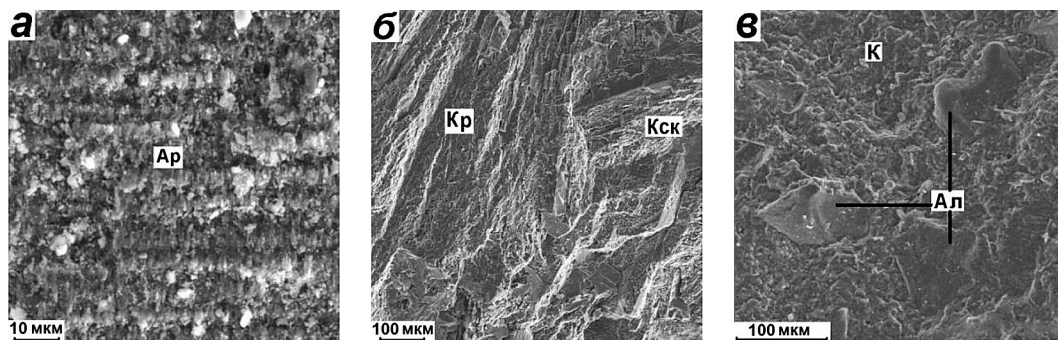


Рис. 5. Структура стенки аммонита с фрагментом, сохраняющим арагонитовые пластинчатые слои (Ар) (*а*); структура радиальнолучистого (Кр) и средне-крупнокристаллического (Кск) кальцита, выполняющего камеру аммонита (*б*); структура мергеля, образованного кальцитом (К) с включениями алюмосиликатов (Ал) (*в*), РЭМ

дается. Люминесцируют зелёным цветом непрозрачные слои коричневого цвета, примыкающие к стенкам и перегородкам раковины. Многие камеры раковин выполнены кальцитом неполностью. В результате образуются жеоды. На стенках жеод формируются щёточки кристаллов кальцита копьевидной формы, размером до 3 мм по длинной оси.

Кальцит, выполняющий камеру, образует слои различной структуры. К стенке раковины примыкает узкий — около 0,3 мм, слой мелкозернистого — 0,05—0,1 мм, кальцита изометричной и слабо удлиненной форм. В этом слое в большом количестве присутствуют дисперсные и мелкозернистые выделения пирита. При удалении от стенки раковины размер кристаллов кальцита увеличивается. Они приобретают длиннопризматическую форму и размер до 2 мм (рис. 3, б). Кристаллы плотносросшиеся, хорошо проявлена спайность (рис. 5, б). Для кристаллов характерны субпараллельная ориентировка, волнистое угасание, большое количество пор и микровключений. Присутствуют слои, в которых кристаллы кальцита имеют сильно удлиненную форму и размер до 1 мм по длинной оси (рис. 3, б, 5, б). Строение кристаллов часто напоминает строение пера, когда от центральной оси под углом отходят мелкие кристаллики. Характерна близкая ориентировка кристаллов, плотное их срастание и веерное угасание. По микротрещинкам развивается дисперсный пирит, образуя дендровидные выделения. В образце кальцит светло-коричневого цвета, просвечивающий.

Распространены слои кальцита шириной около 1,6 мм (рис. 3, в), состоящие из двух частей. Одна из них шириной около 0,5 мм образована мелкозернистыми изометричными кристаллами, другая шириной 1 мм — тонкопризматическими, игольчатыми, последние образуют блоки размером до 1 мм сноповидных агрегатов с веерным угасанием. По контакту с последующим слоем расположены цепочки мелких 0,05—0,2 мм кристаллов пирита, многие из которых имеют квадратную форму. В образце слои светло-серого цвета, непрозрачный.

В центральных частях камер распространены слои с крупнопризматическим до 0,5 мм кальцитом (рис. 3, г). Кристаллы длиннопризматической и изометричной форм, во многом связанных с положением к плоскости шлифа. Кристаллы с близкой ориентировкой образуют крупные, до 2—3 мм блоки с ровным угасанием. В кальците наблюдается большое число кристаллов пирита размером до 0,5 мм. Многие имеют чётко выраженную квадратную форму. При срастании кристаллов образуются выделения пирита размером до 2 мм. Дисперсные выделения пирита образуют тонкие цепочки на контактах слоёв. В образце кальцит бесцветный, светло-коричневого, светло-серого цвета с желтоватым оттенком, с полупрозрачными и просвечивающими зонами.

Бесцветный полупрозрачный и просвечивающий кальцит, выполняющий камеру, в ОРЭ имеет однородное строение, с неравномерным распределением мелких — 5—20 мкм пор (рис. 4, а, б). Фрагменты с большим числом пор имеют низкую прозрачность. Часть пор выполнена поздним кальцитом. В нём фиксируются более низкие содержания элементов-примесей. На границе с зоной фиксируются мелкие — 10—60 мкм включения пирита, образующие узкую, на размер кристаллов, цепочку (рис. 4, б). Кристаллы имеют сложную форму, связанную с их образованием на кончиках кристаллов кальцита, а также с частичной их эродированностью.

В приконтактной со стенкой аммонита зоне в кальците, выполняющем камеру, фиксируются включения пирита и оксидов Fe. Включения размером около 1 мкм при слиянии образуют более крупные выделения, приуроченные к порам и микротрещинам (рис. 4, в). Выделения округлой формы размером до 10 мкм, сложной изометричной — до 25 мкм. Характерны протяжённые лентообразные выделения шириной до 5 мкм. При больших увеличениях наблюдается слабораскристаллизованная масса сложного химического состава, из которой начинает кристаллизовываться глобулярный пирит размером 0,3—0,8 мкм (рис. 4, г). Образование таких выделений происходит, вероятно, с участием бактерий. По контакту со стенкой аммонита развиваются тонкодисперсные выделения апатита, проявленные в ОРЭ более светлой, чем кальцит окраской (рис. 4, а, в). Выделения апатита формируются часто совместно с пиритом.

Мергель представляет плотную породу серого цвета, различных оттенков с мелкой чёрной вкрапленностью. Полированная поверхность мергеля на многих участках тонкопористая. Зеркальная поверхность при полировке, как правило, не достигается. Поверхность скола неровная мелко-раковистая. По микротрещинам развивается ожелезнение. Плотность мергеля определяется преимущественно его карбонатным составом и составляет 2,6—2,7 г/см³. Микротвёрдость в среднем — 181 кг/мм². Люминесценция мергеля не наблюдается. Камеры, выполненные мергелем, в аммонитах интерьерного и ювелирного качества по возможности удаляется.

Мергель состоит из включений размером 0,05—0,15 мм, сцементированных дисперсным кальцитом (рис. 3, б, 5, в). Кальцит, образующий цемент, размером 5—15 мкм изометричной формы (рис. 5, в). Включения угловатой и округлой форм, представленные кварцем и алюмосиликатами, преимущественно глауконитом. В мергеле фиксируются в небольшом количестве кристаллики пирита размером 0,01—0,1 мм. Апатит частично замещает алюмосиликаты.

Кальцит из элементов-примесей содержит в среднем (мас. %): Mg 0,62, Mn 0,31 и Fe 1,26 при значительных колебаниях значений в отдельных спектрах (таблица). Значимых различий в содержаниях элементов-примесей в кальците, выполняющем различные структурные элементы раковин,

Химический состав кальцита в аммонитах по данным РСМА

Содержание элемента, мас. %				
Mg	Mn	Fe	Ca	O
0,06—1,37 0,62	0,10—0,81 0,31	0,20—2,26 1,26	34,04—38,43 35,99	14,82—16,27 15,56

Примечание. Над чертой — минимальные и максимальные значения, под чертой — средние по 107 спектрам.

не наблюдается. Не установлено и различий в содержаниях элементов-примесей различно окрашенного кальцита, что обусловлено его относительно узкой цветовой гаммой.

В апатите из элементов-примесей фиксируются в среднем (мас. %): Na 0,62, Mg 0,15, Fe 0,36, S 0,54 и Sr 0,73. Содержания S и частично Fe связаны с микровключениями пирита, с которыми

апатит часто ассоциирует. По химическому составу апатит относится к гидроксипатиту. В пирите из элементов-примесей фиксируются устойчивые содержания As, составляющие в среднем 0,28 мас. %.

Выводы

Аммониты Республики Адыгея состоят преимущественно из кальцита с включениями кварца, глауконита, каолинита, арагонита, пирита, апатита и гематита. Прозрачность кальцита определяются структурными особенностями кристаллов и минеральными включениями. Аммониты имеют широкий диапазон размеров. Крупные раковины могут использоваться в ландшафтном дизайне, в оформлении помещений. По декоративности и технологическим характеристикам аммониты могут использоваться и в качестве ювелирно-поделочного материала. Сбор конкреций с аммонитами осуществляется в руслах рек, береговых обнажениях, что не требует капитальных вложений, не нарушает экологию.

ЛИТЕРАТУРА

1. Быстров И.Г., Петроченков Д.А., Барабошкин Е.Ю. Нижнемеловые ювелирно-поделочные аммониты Республики Дагестан // Известия Дагестанского государственного педагогического университета. Естественные и точные науки. 2018. Т. 12. № 1. С. 39–49.
2. Воробьев И.Е. Поиски ископаемых на Северо-Западе Кавказа. Краснодар: Краснодарское отделение Росгео, 2014. 300 с.
3. Друщиц В.В., Михайлова И.А. Биостратиграфия нижнего мела Северного Кавказа. М.: Изд-во МГУ, 1966. 190 с.
4. Егонян В.Г. Предкавказье // Стратиграфия СССР. Меловая система. М.: Недра, 1986. С. 165–170.
5. Мордвилко Т.А. Нижнемеловые отложения Северного Кавказа и Предкавказья. Т. 2. Л.: Изд-во АН СССР. 1962. 296 с.
6. Петроченков Д.А., Быховский Л.З. Ювелирно-поделочные аммониты: проблемы оценки и перспективы добычи // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 2018. № 4. С. 15–22.
7. Петроченков Д.А. Минеральный состав и структурные особенности ювелирных аммонитов Костромской области // Изв. вузов. Геология и разведка. 2017. № 2. С. 22–27.
8. Bockwinkel J., Becker R.T., Ebbighausen V. Late Givetian ammonoids from Hassi Nebech (Tafilalt Basin, Anti-Atlas, southern Morocco) // Fossil Record. 2013. V. 16(1). Pp. 5–65.
9. Mychaluk K. Update on ammolite production from Southern Alberta, Canada // Gems & Gemology. 2009. Vol. 45 N 3. P. 192–196.
10. Walaszczyk I., Kennedy W.J., Dembicz K., Gale A.S., Praszlier T., Rasoamiamanana A.H., Randrianaly H. Ammonite and inoceramid biostratigraphy and biogeography of the Cenomanian through basal Middle Campanian (Upper Cretaceous) of the Morondava Basin, western Madagascar // Journal of African Earth Sciences, 2014 Vol. 89. Pp. 79–132.
11. Zakharov Y.D., Tanabe K., Shigeta Y., Safronov P.P., Smyshlyaeva O.P., Dril S.T. Early Albian marine environments in Madagascar: An integrated approach based on oxygen, carbon and strontium isotopic data // Cretaceous Research, 2016. Vol. 58. Pp. 29–41.

REFERENCES

1. Bystrov I.G., Petrochenkov D.A., Baraboshkin E.Yu. Lower cretaceous jewelry-ornamental ammonites of the Republic of Dagestan. Dagestan State Pedagogical University. Journal. Natural and Exact Sciences, 2018, vol. 12, no. 1, Makhachkala, pp. 39–49. (In Russian).
2. Vorobev I.E. Fossil Searches in the North-West Caucasus. Krasnodar, 2014, 300 p. (In Russian).
3. Druzhchits V.V., Mikhailova I.A. Biostratigraphy of the Lower Cretaceous of the Northern Caucasus. Moscow, MGU Publ., 1966, 190 p. (In Russian).
4. Yegonyan V.G. Ciscaucasia. Stratigraphy of the USSR. Cretaceous system. Moscow. Nedra Publ., 1986, pp. 165–170. (In Russian).
5. Mordvilko T.A. Lower Cretaceous deposits of the North Caucasus and Ciscaucasia. Vol. 2. Leningrad, AS USSR Publ., 1962, 296 p. (In Russian).
6. Petrochenkov D.A., Bykhovsky L.Z. Jewellery/ornamental ammonites: problems of valuation and production prospects. Mineral resources of Russia. Economics and Management, 2018, no. 4, pp. 15–22. (In Russian).
7. Petrochenkov D.A. Mineral composition and structural features of jeweler ammonites from Kostroma region. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Geologiya i razvedka — [Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration], 2017, vol. 2, pp. 22–27. (In Russian).
8. Bockwinkel J., Becker R.T., Ebbighausen V. Late Givetian ammonoids from Hassi Nebech (Tafilalt Basin, Anti-Atlas, southern Morocco). Fossil Record, 2013, V. 16(1), pp. 5–65.
9. Mychaluk K. Update on ammolite production from Southern Alberta, Canada. Gems & Gemology, 2009, vol. 45, no 3, pp. 192–196.
10. Walaszczyk I., Kennedy W.J., Dembicz K., Gale A.S., Praszlier T., Rasoamiamanana A.H., Randrianaly H. Ammonite and inoceramid biostratigraphy and biogeography of the Cenomanian through basal Middle Campanian (Upper Cretaceous) of the Morondava Basin, western Madagascar. Journal of African Earth Sciences, 2014, vol. 89, pp. 79–132.
11. Zakharov Y.D., Tanabe K., Shigeta Y., Safronov P.P., Smyshlyaeva O.P., Dril S.T. Early Albian marine environments in Madagascar: An integrated approach based on oxygen, carbon and strontium isotopic data. Cretaceous Research, 2016, vol. 58, pp. 29–41.

**ПОЛЕЗНЫЕ ИСКОПАЕМЫЕ,
МЕТОДИКА ИХ ПОИСКОВ И РАЗВЕДКИ**

УДК 549.211:553.81

**ОСОБЕННОСТИ АЛМАЗОВ ИЗ КИМБЕРЛИТОВ МИРНИНСКОГО ПОЛЯ
(СИБИРСКАЯ ПЛАТФОРМА)**

Н.Н. ЗИНЧУК, В.И. КОПТИЛЬ

*Западно-Якутский научный центр (ЗЯНЦ) АН РС (Я)
16, Чернышевское шоссе, г. Мирный 678175, Якутия, Россия
e-mail: nnzinchuk@ramber.ru*

По результатам комплексного изучения алмазов из коренных тел Мирнинского кимберлитового поля выделены три группы резко различающихся по типоморфным особенностям кристаллов, связанные с тремя разделёнными во времени фазами алмазоносного магматизма (I — жила А-21; II — трубы Таёжная и Амакинская; III — трубы Мир, Интернациональная, имени XXIII съезда КПСС, Дачная и Спутник). Для первой наиболее ранней группы характерно низкое содержание октаэдров с преобладанием индивидов ромбододекаэдрического габитуса; во второй — отмечается примерно равное соотношение кристаллов октаэдрического и ромбододекаэдрического габитусов; в третьей — наиболее высокопродуктивных диатрем — свойственно резкое преобладание груболаминарных кристаллов октаэдрического и переходного от него к ромбододекаэдрическому габитусов. Важное значение имеет использование типоморфных особенностей кристаллов для восстановления экзогенной истории алмазов на пути от коренных источников до мест современного нахождения в россыпях, для палеогеографических реконструкций распространения древних продуктивных толщ и выяснения направлений сноса алмазоносного материала, что будет способствовать поиску коренных источников.

Ключевые слова: типоморфизм алмазов; кимберлитовые трубы; фазы алмазоносного магматизма.

DOI:10.32454/0016-7762-2019-1-39-50

**SPECIFIC FEATURES OF KIMBERLITES OF MIRNY FIELD
(SIBIRIAN PLATFORM)**

N.N. ZINCHUK, V.I. KOPTIL

*West-Yakutian Scientific Centre of RS (Y) AS, Mirny
16, Chernyshevski schose, Mirny 678175, Yakutiya, Russia
e-mail: nnzinchuk@rambler.ru*

Results of comparative complex investigation are provided for diamonds from primary bodies of Mirny kimberlite field, among which three groups are distinguished sharply differing by typomorphic features of crystals, related with three separated in time phases of diamondiferous magmatism (I — vein A-21; II — pipes Tazhnaya and Amakinskaya; III — pipes Mir, International, XXIII-rd CPSU Congress, Dachnaya and Sputnik). For the first earliest group low content of octahedral is typical, with prevalence of individuals of rhombic dodecahedral habit; the second group is noted for approximately equal ratio of octahedral and rhombic dodecahedral habit crystals; sharp prevalence of coarse-laminar crystals of octahedral and transitive from it to rhombic dodecahedral habit is characteristic for the third group of most high-productive diatremes. Utilization of typomorphic features of crystals for reconstruction of exogenous history of diamonds on the way from primary sources to the places of modern location in placers, for paleogeographical reconstructions of ancient productive thick layers' reconstructions and clearing out directions of diamondiferous material drift, which will promote prospecting of their primary sources, has important significance.

Key words: typomorphism of diamonds; kimberlite pipes; phases of diamondiferous magmatism.

В результате более чем 60-летних геолого-разведочных работ на Сибирской платформе (СП) открыты уникальные месторождения алмазов, что позволило в очень краткие сроки создать мощную алмазодобывающую промышленность. Поисковые работы в этот период проводились [1, 2, 8] с применением геофизических, минералогических и других методов исследований. Возрастание сложности решения геолого-разведочных работ в центральной части СП, где сосредоточены основные производственные мощности акционерной компании (АК) АЛРОСА, а также расширение поисков за пределами этих территорий (Иркутская область, Красноярский край, Архангельская алмазоносная провинция и др.) повышают актуальность прогноза алмазоносности на территориях со сложным геологическим строением. При этом необходимо совершенствовать (с помощью внедрения современных методов исследований) и шлихоминералогический метод [9, 10], обратив внимание в первую очередь на индикаторные минералы кимберлитов (ИМК) — алмаз, пироп, пикроильменит, хромшпинелиды и др.). Особую роль при этом играет алмаз, характеризующийся широким комплексом кристалло-морфологических, физико-химических и других особенностей, отражающих своеобразие термодинамических и геохимических условий его образования, которые могут быть рассмотрены в качестве типоморфных. Современные методы исследований алмазов позволяют получить информацию об условиях их образования, последующего существования и изменения, что важно для прогнозирования и поисков коренных источников минерала. В результате алмазопроисловых работ на СП открыто более 1000 кимберлитовых тел (трубки, дайки, жилы и силлы) и установлено широкое развитие россыпной продуктивности в разновозрастных (от рифейского до современного возраста) коллекторах различных генетических типов. Все известные кимберлитовые тела распределяются по площади крайне неравномерно. Они в основном сосредоточены в центральной и северо-восточной частях платформы и группируются в 25 кимберлитовых полях [1—7]. Установлено три основные эпохи кимберлитового магматизма: рифейская, убогалмазоносная (Присаянье), среднепалеозойская, преимущественно высокоалмазоносная (центральная часть платформы), и мезозойская, низкоили неалмазоносная (северо-восток платформы). Проведенный структурно-тектонический анализ подтвердил «правило Клиффорда», согласно которому алмазоносные кимберлиты приурочиваются к линейным зонам тектонической активизации в пределах архейских (3,5—2,6 млрд. лет) кратонов, непереработанных раннепротерозойской тектономагматической активизацией и более поздними подвижными поясами. Так, в пределах центральной части платформы отмечается [8—10] два таких

кратона — Ботубинский и Тунгский, которые пересекаются Вилуйско-Мархинской (на юге) и Далдыно-Оленекской (на севере) зонами тектонической активизации (минерагенические зоны) северо-восточного простирания. Именно к ним в пределах кратонов и приурочены все известные на сегодня среднепалеозойские высокоалмазоносные кимберлитовые поля платформы. В то же время по числу кимберлитовые тела мезозойского возраста значительно преобладают над среднепалеозойскими (единичные рифейские жилы кимберлитов обнаружены только в Ингашинском поле Присаянья). Тяготеют они к подвижным поясам или к кратонам, на архейский фундамент которых были наложены пояса тектоно-термальной переработки, вызвавшие вторичные тектонические дислокации, ретроградный метаморфизм, образование линейных зон диафореза и милонитизации. Здесь произошла существенная эрозия и переработка корневых частей литосферы СП, которая обусловлена проявлением мощного и огромного по масштабам цикла траппового магматизма (1,5 млн. км² по охваченной активизацией площади и около 500 тыс. км² излившихся магм) на границе пермского и триасового периодов. В этот период расплавы астеносферного происхождения, активно взаимодействуя с корневыми уровнями литосферы, уничтожили наиболее глубинную алмазоносную их часть путём частичного плавления и существенно переработали более верхние литосферные горизонты, увеличив там роль гранатовых пироксенитов [3]. Все это обусловило практически полное отсутствие (за исключением некоторых трубок) алмазов в мезозойских кимберлитах платформы. В то же время в районе Кютюнгдинского грабена (крайний северо-восток СП) и Байкитской антеклизы (запад платформы) в россыпных проявлениях установлены алмазы, по своим типоморфным особенностям идентичные таковым из высокоалмазоносных трубок среднепалеозойского возраста. По-видимому, здесь сохранились блоки архейского фундамента, незатронутые протерозойскими и фанерозойскими тектоно-термальными коллизиями, в пределах которых находятся ещё необнаруженные высокоалмазоносные кимберлитовые тела.

Кроме известных эксплуатирующихся и подготовляемых к промышленной разработке коренных месторождений СП, алмазы установлены более чем в 147 кимберлитовых телах [5] (причем для части их и по отдельным рудным столбам), среди которых полупромышленную или близкую к промышленной алмазоносность имеют 12 трубок. В процессе многолетних поисковых, разведочных и эксплуатационных работ извлекаемые алмазы подвергались всестороннему и комплексному изучению. В целом для сравнительной характеристики типоморфных особенностей алмазов платформы использованы [6] результаты минералогических ис-

следований многочисленных кристаллов из кимберлитовых тел с привлечением подобных материалов других авторов. При этом использовалась минералогическая классификация Ю.Л. Орлова, по которой выделяется 11 разновидностей алмазов [8], имеющая глубокое физическое обоснование [5], с разделением алмазов отдельных разновидностей по габитусу и морфологическим типам кристаллов [7]. В основу выделения минералогических разновидностей алмазов положены следующие критерии: окраска, структурно-текстурные признаки, содержание примесных оптически-активных центров, изотопный состав углерода, фото- и рентгенолюминесцентные особенности, минералогия и химический состав твёрдых включений и т. д. В качестве дополнительных типоморфных признаков использовались следующие: характер двойников и сростков, скульптуры травления, сохранность зёрен, их трещиноватость и характер сколов. Использование комплекса типоморфных свойств алмазов позволяет рассмотреть с генетических позиций как их эндогенную историю в магматических очагах (кимберлитовых телах), так и последующие этапы развития под воздействием наложенных процессов автометаморфизма кимберлитов в постмагматический этап (пластическая деформация, растворение и коррозия).

Мирнинское кимберлитовое поле (МКП) расположено на юге Якутской алмазоносной провинции (ЯАП) в пределах Малоботуобинского алмазоносного района (МБАР), который находится в пределах Ботуобинского поднятия (северо-восточное окончание Непско-Ботуобинской антеклизы), разделяющего Тунгусскую (ТС) и Вилюйскую (ВС) синеклизы. Оба склона седловины осложнены глубинными разломами Ахтарандинской зоны субмеридионального простирания и Вилюйско-Мархинской (Вилюйско-Жиганской) зоны северо-восточного направления. Наиболее приподнятая осевая часть седловины сложена галогенными и терригенно-карбонатными породами верхнего кембрия (от 120 до 500 м) и нижнего ордовика (до 140 м). Девон-нижнекаменноугольные осадочные и вулканогенно-осадочные образования установлены [2] на северо-востоке района в пределах Ыгыаттинской впадины. Они залегают на размытой поверхности пород нижнего палеозоя и представлены в основном аргиллитами, алевролитами, кварц-полевошпатовыми песками, туфами, туффитами и базальтами. Верхнепалеозойские отложения выполняют склон ТС на северо-западе территории. Они с несогласием ложатся на породы нижнего палеозоя, на которых местами сохраняются глинистые образования древней коры выветривания (КВ). Средне-верхнекаменноугольные и пермские континентальные и прибрежно-морские осадочные толщи представлены преимущественно песками, песчаниками с прослоями и линзами конгломератов, га-

лечников и глинисто-углистых сланцев. В основании часто залегают базальные конгломераты, пески с примесью гальки, содержащие алмазы или ИМК — пироп и пикроильменит. В северо-западной части района на отдельных участках распространены [9] туфогенные образования нижнего триаса, туфопесчаники и туффиты. Мезозойские отложения состоят из континентальных и прибрежно-морских отложений нижней юры, слагающих борт ВС и Ангаро-Вилюйского наложенного прогиба (АВНП). Они залегают на размытой поверхности ниже- и верхнепалеозойских пород и обычно подстилаются глинистыми образованиями КВ позднетриасового-раннеюрского возраста.

На территории МБАР широко распространены разломы субмеридионального, субширотного и северо-западного простирания. В пределах района уверенно установлено [2] широкое распространение разломов субмеридионального, субширотного и северо-западного простираний. В пределах района определено положение четырех глубинных разломов: Западного, Параллельного, Центрального и Восточного. Магматические породы района — силлы и дайки долеритов, вулканические трубки диабазовых туфов, туфобрекчий, трубчатые тела и жилы кимберлитовых пород. Известные в районе кимберлитовые трубки и дайки приурочены к трём разломам. В зоне Западного разлома локализованы трубки Таёжная, Амакинская, имени XXIII съезда КПСС, дайка А-21, а также серии даек, сочленяющихся с этими диатремами. Трубка Интернациональная с системой даек расположена в 3 км от осевой линии Западного разлома и связана [10] с самостоятельным Кюэляхским разломом. В зоне Параллельного разлома размещаются трубки Мир, Спутник и Дачная, а также дайки, сопровождающие эти трубки. Все субмеридиональные разломы Вилюйско-Мархинской тектонической зоны принадлежат к разломам закрытого или полужакрытого типа. Кимберлитовые трубки Мир, Спутник и Амакинская отпрепарированы эрозией и выходят непосредственно на дневную поверхность. В отличие от них кимберлитовые диатремы имени XXIII съезда КПСС, Интернациональная и Дачная полностью, а трубка Таёжная частично перекрыты осадочными отложениями нижней юры мощностью от нескольких до 20 м. Кимберлиты района довольно разнообразны. Они различаются между собой формой тел, внутренним строением, минералого-петрохимическим составом, содержанием и составом ИМК, морфологией алмаза и уровнем алмазоносности. Наиболее существенные различия установлены между кимберлитами, принадлежащими к разным морфогенетическим типам тел: трубчатому и дайковому. По ряду признаков среди кимберлитовых пород района выделены [9, 10] пять групп. В МБАР пространственно совмещены брекчии двух генетических типов магм: ультраос-

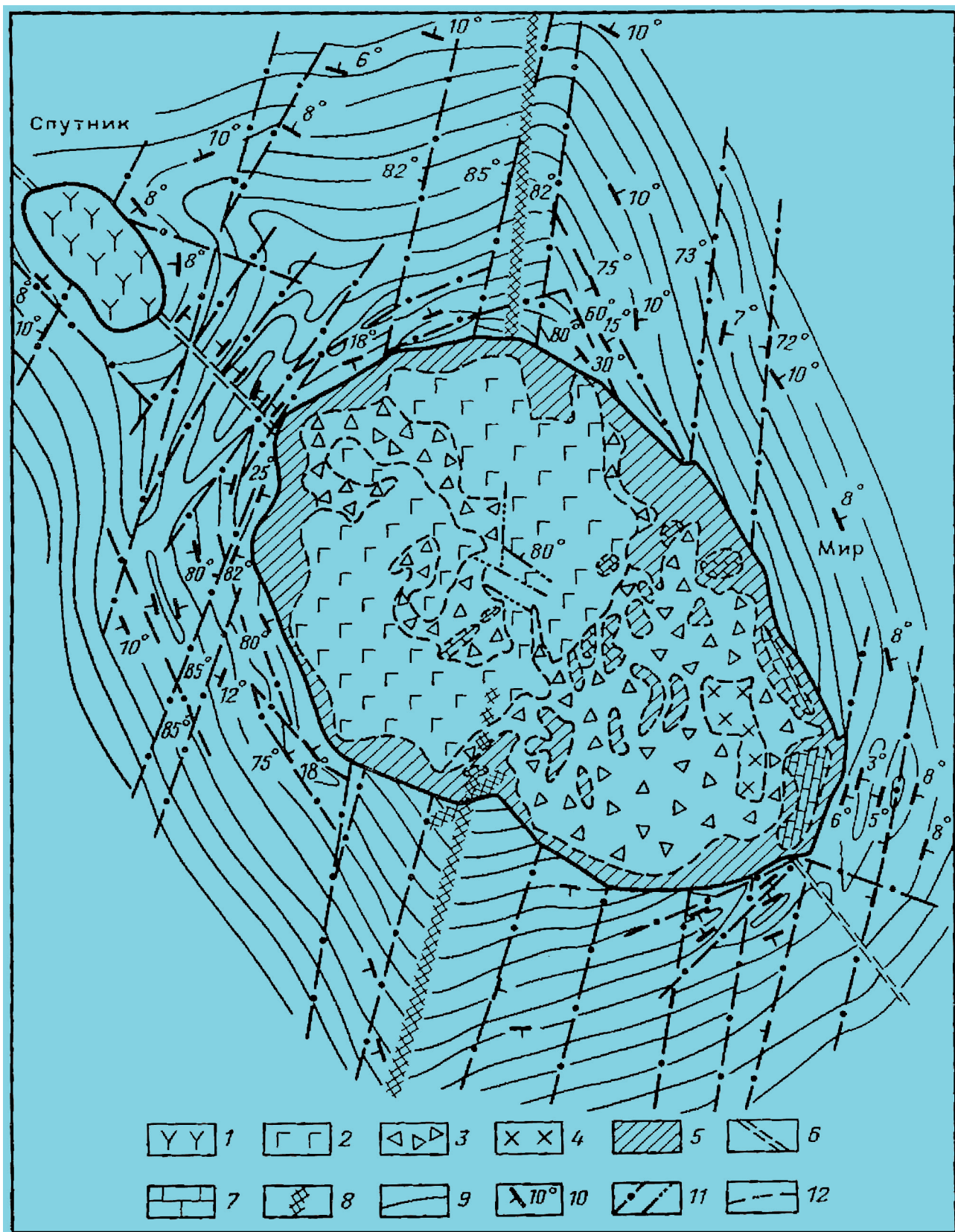


Рис. 1. Геолого-структурная схема трубок Мир и Спутник (МБАР): 1 — трубка Спутник; 2—4 — трубка Мир, кимберлиты соответственно первой, второй и третьей фаз внедрения; 5 — зона эндоконтакта; 6 — кимберлитовая дайка; 7 — ксенолиты осадочных пород; 8 — зона дробления с галенитовой и сфалеритовой минерализацией; 9 — вскрытые карьером пласты вмещающих карбонатных пород; 10 — элементы залегания осадочных пород и разрывных нарушений; 11 — разрывные нарушения; 12 — границы разновидностей кимберлитовых пород

новной (с щелочным уклоном) и основной, что соответствует кимберлитовым и трапповым брекчиям. Оба типа магм являются типично платформенными образованиями, хотя совместное присутствие продуктов их эксплозивной деятельности отмечается сравнительно редко. Пространственное совмещение в МБАР кимберлитовых и трапповых брекчий позволяет устанавливать их структурное положение, что очень важно для выбора перспективных участков для поисков кимберлитовых тел. Выяснение морфологии и внутренней структуры тел, сложенных брекчиями трапповых и кимберлитовых пород, изучение их состава и взаимоотношения с породами вмещающей рамы в зоне экзоконтакта имеет большое значение для расшифровки сложного вопроса происхождения и механизма образования брекчий и генезиса полезных ископаемых, связанных с ними. Большинство трапповых трубчатых тел располагается по тектоническим нарушениям северо-западного простирания. Их длинные оси вытянуты в северо-западном направлении. В том же направлении на продолжении длинных осей трубок установлены зоны дробления во вмещающих терригенно-карбонатных породах нижнего палеозоя. Такая структурная позиция трубок взрыва свидетельствует о том, что глубинные разломы служили подводящими каналами для кимберлитовой и основной магм, а тектонические нарушения северо-западного простирания являлись рудовмещающими. Вертикальные смещения по характеризующим глубинным разломам незначительны. Диаметр трубок взрыва трапповых пород варьирует в широких пределах — от нескольких десятков метров до 1 км и более. Большинство изученных нами трубок сложено агломератовыми туфами и туфобрекчиями траппового состава, содержащими от 40 до 80% обломков траппов и осадочных пород, сцементированных кальцитовым и хлорит-кальцитовым материалом. Возраст трубок взрыва трапповых пород МБАР СП установлен триасовый и девонский. Важное значение имеет выяснение последовательности формирования трубок взрыва, сложенных кимберлитовыми и трапповыми породами. По наличию и химизму во всех известных кимберлитовых трубках района ксенолитов трапповых пород, выполняющих трубчатые тела, можно утверждать, что трапповая фаза вулканизма в среднепалеозойское время предшествовала кимберлитовой.

Для кимберлитовых тел МБАР отмечены [5–7] существенные различия в особенностях распределения слагающих их пород, в том числе и алмазов. Для кимберлитов первой группы (*жила Ан-21*) характерно преобладание додекаэдровидов с шагренью и полосами пластической деформации «жильного» типа и низким содержанием октаэдров 1-й разновидности, высокой ролью дымчато-коричневых кристаллов, сине-голубой и зелёной фотолуми-

несценцией. Алмазы из кимберлитовых тел этой группы среднеазотные при заметном содержании низкоазотных и безазотных кристаллов. Вторая группа кимберлитовых трубок (*Таёжная и Амакинская*) характеризуется высоким содержанием ламинарных кристаллов ромбододекаэдрического габитуса, преобладающих над октаэдрами 1-й разновидности, появлением типичных округлых алмазов (первые проценты), более высоким содержанием дымчато-коричневых камней, преобладающей сине-голубой фотолуминесценцией. Кристаллы из кимберлитов этой группы среднеазотные, отличаются по типам внутреннего строения от алмазов из диатрем 1-й группы. Один из рудных столбов трубки Амакинской по свойствам алмазов близок к жиле Ан-21.

Наиболее детально комплексно нами исследованы алмазы из кимберлитовых тел третьей группы, отдельные диатремы из которой уже отработаны на возможные для открытой добычи глубины (трубки имени XXIII съезда КПСС и Дачная), другие (Мир и Интернациональная) разрабатываются подземным способом. *Кимберлитовая трубка Мир* вместе с трубками Спутник, Дачная и системой даек приурочена к Параллельному глубинному разлому, который четко фиксируется [2, 10] магнитной и гравиметрической съёмками на участках, где по разлому внедрялись диабазы или произошли существенные смещения пород. Трубка на поверхности имеет форму овала со слабым пережимом примерно в средней части (рис. 1). Размер её по длинной оси, ориентированной в северо-западном направлении, 490 м, по короткой — 320 м. До глубины 200 м диатрема представляет собой типичную воронку, глубже (до 900 м) — цилиндрическое тело с незначительным сужением к низу, а затем, в 900–1000 м от поверхности она переходит в серию подводящих даек. Трубка прорывает терригенно-карбонатные и галогенно-карбонатные породы ордовика и кембрия, два силла (на глубине 500 и 1100–1200 м мощностью соответственно 12–34 и 70 м) и дайку диабазов позднедевонского возраста. Терригенно-карбонатные породы представлены известняками, доломитами, мергелями, алевролитами и их переходными разностями. Пласты и линзы каменной соли мощностью до нескольких десятков метров занимают значительный объём в разрезе прорванных пород, начиная с глубины 500 м. Встречаются также прослои и линзы гипса, ангидрита и сепиолита. Процесс становления трубки Мир сопровождался формированием диапировой структуры [10]. Верхние горизонты трубки Мир образовались в результате трехфазного внедрения кимберлитового расплава (рис. 1). Кимберлитовые брекчии (КБ) первой фазы слагают большую часть северо-западной половины трубки. КБ второй фазы на уровне современного эрозионного среза локализованы в юго-восточной части диатремы и инъецируют брекчии северо-западной половины трубки.

ки. Кимберлитовые породы третьей фазы формируют на юго-востоке диатремы вытянутое в северо-западном направлении дайковидные тело размером $(30\text{--}40)\times 120$ м. Контакты этого тела с вмещающими КБ секущие, при этом в зоне контакта широко развита сульфидная минерализация. Кроме отмеченных трёх фаз КБ, образование которых происходило в результате последовательного внедрения самостоятельных порций кимберлитового расплава из эволюционирующего магматического очага, вдоль контакта с вмещающими породами почти повсеместно отмечаются своеобразные КБ, названные нами эндоконтактовыми. Мощность их не постоянна и колеблется от 5 до 50 м. Эндоконтактовые брекчии не связаны с самостоятельной фазой формирования тела, а представляют собой своеобразные фациальные разновидности вышеописанных КБ, возникновение которых обусловлено повышенным содержанием ксеногенного материала вмещающих пород и влиянием на кимберлиты постмагматических растворов. Эта зона кимберлитовых пород наиболее интенсивно карбонатизирована и насыщена ксенолитами терригенно-карбонатных пород (35–60%). Интересна зона кимберлитовых пород, разделяющая породы первой и второй фаз внедрения. Она имеет ширину до нескольких десятков метров и характеризуется высокими концентрациями рифов вмещающих пород, размеры которых достигают первых десятков метров. Эта зона совпадает с пережимом трубки (рис. 1), рассекая её почти в меридиональном направлении на две части. Продолжение отмеченного ксенолитового пояса вскрыто [10] буровыми разведочными скважинами и на глубоких горизонтах (800–1000 м). Ксенолитовый пояс распространяется от поверхности до глубины около 1 км и является щовной зоной, по которой сочленяются два самостоятельных тела, имеющих на глубине изолированные подводящие каналы. В трубке Мир относительно широко распространены ксенолиты пород верхней мантии [8–10]. Они представлены породами, образовавшимися в широком интервале P - T -условий: от области стабильной кристаллизации алмаза (глубина 150–200 км — алмазосодержащие ультрабазиты и эклогиты) до верхних горизонтов мантии (глубина 50–60 км — шпинелевые и бесшпинелевые ультрабазиты, пироксениты и др.). Степень переработки ксенолитов на глубине диатремы значительно выше, чем в верхних горизонтах, что связано с воздействием на кимберлиты и содержащиеся в них ксенолиты высокоминерализованных вод, локализованных в пределах мощных залежей соленосных толщ во вмещающих кимберлиты кембрийских отложениях.

Содержание алмазов в кимберлитах трубки Мир значительно выше, чем в наиболее высокоалмазных месторождениях зарубежных стран (за исключением лампроитовой трубки Аргайл в Авст-

ралии). Типоморфными особенностями алмазов трубки Мир являются (рис. 2): резкое преобладание кристаллов октаэдрического габитуса 1-й разновидности, при высоком содержании плоскогранных острореберных октаэдров и максимальное в МБАР число груболаминарных индивидов с полицентрически растущими гранями, низкое содержание двойников и сростков, преимущественно двойников по шпинелевому закону при низком содержании кристаллов с признаками природного травления. Также для них характерны повышенная степень прозрачности и пониженное содержание окрашенных кристаллов, а также камней с твёрдыми включениями. Следует отметить преобладающую розово-сиреневую фотолюминесценцию и высокое содержание примесного азота в А-форме, составляющего не менее 75% от общей концентрации примесного азота в алмазах. Из числа редких минералогических разновидностей алмазов следует отметить присутствие в незначительных количествах желтых и серых комбинационных многогранников с оболочкой IV разновидности [5] и поликристаллических сростков VIII разновидностей, антискелетов с желобами на месте {110} и камней с грязно-фиолетовой окраской. Сочетание кристаллов с такими типоморфными особенностями образует минералогическую ассоциацию алмазов «мирнинского» типа. Включения других минералов в алмазах трубки Мир относятся к двум парагенезисам: ультраосновному (99,4%) и эклогитовому (0,6%). Наиболее распространенными включениями являются оливин (до 50%), хромит (до 40%) и гранаты (до 3%). Статистическая обработка результатов опробования, проводившегося при детальной и эксплуатационной разведке, показала [10], что повышенная алмазоносность кимберлитов характерна для северо-западной и юго-восточной частям трубки, которые разделены в центре зоной пониженных содержаний полезного компонента. Распределение алмазов неравномерное, особенно в юго-восточной части диатремы. Изучение алмазоносности кимберлитов трубки на глубину свидетельствует, что закономерных изменений продуктивности до глубины 1000 м не фиксируется.

Кимберлитовая трубка Спутник расположена в логе Хабардина в 131 м на северо-восток от трубки Мир (рис. 1). Вмещающими породами на уровне современного среза служат отложения нижнего ордовика мощностью 270–280 м, а ниже трубку окружают породы кембрийского возраста. Трубка сравнительно небольшая (140×90 м), овальной формы. В вертикальном разрезе трубка быстро выклинивается, переходя на глубине 330 м в подводящую дайку мощностью 15 м, а на глубине 375 м — в систему даек мощностью 2–3 м. Эти дайки под трапцевым силлом объединяются в более мощную дайку — подводящий канал северо-западной ориентировки. Содержание ксенолитов вмещающих пород



Рис. 2. Алмазы из кимберлитов трубки Мир (МБАР)

в кимберлитах трубки повышено. Особенно много обломков пород, зёрен кварца и полевого шпата. Довольно часто встречаются измененные ксенолиты траппов. По степени постмагматической и гипергенной измененности среди кимберлитовых пород диатремы выделяется несколько разновидностей. Наиболее изменены кимберлитовые породы верхних горизонтов (до глубины 25 м) и на контакте с вмещающими породами, где они превращены в желтовато-бурую глинисто-карбонатную массу. Глубже залегают КБ серого и темно-серого цвета. Химический состав кимберлитовых пород трубки Спутник характеризуется несколько повышенным (по сравнению с породами трубки Мир и другими диатремами района) содержанием SiO_2 , Al_2O_3 , CaO , что связано с контаминацией кимберлитами вмещающих пород кварца, полевых шпатов и глинистого вещества. Содержание алмазов в трубке Спутник значительно ниже, чем в трубке Мир. Среди них преобладают [7] октаэдрические кристаллы (до 61%), значительную часть составляют октаэдры (16%) и комбинационные образования (до 23%). Содержание груболаминарных кристаллов иногда достигает 60%. Для большей части алмазов характерна дитригональная форма слоев, слагающих грани кристаллов, тригональными слоями образовано 12% граней. Кристаллы искаженных форм преобладают (до 63%) над правильно ограненными индивидуумами. Двойники и сростки

составляют 12%. Наиболее распространенными среди них являются двойники по шпинелевому закону (53%) и неправильные сростки (35%). Реже встречаются вроски одних кристаллов в другие (до 8%) и параллельные сростки (4%). В отличие от алмазов трубки Мир, здесь почти полностью отсутствуют поликристаллические сростки. Трещины отмечены у 20% алмазов. Включения других минералов установлены у 45% камней, что примерно в три раза больше, чем в трубке Мир. Чаше всего наблюдаются включения черного цвета (графит и сульфиды — до 95%), оливина (3%) и граната (2%). Основная масса алмазов описываемой диатремы обладает высокой степенью прозрачности. Около 80% представлены прозрачными кристаллами. Количество дымчатых кристаллов не превышает 10%. Значения $\delta^{13}\text{C}$ алмазов из трубки Спутник заключены в довольно узком интервале: от -2,78 до -8,3 ‰, при среднем -4,81 ‰ (в трубке Мир -6,8 ‰). Столь существенные различия состава и набора минералов-включений в алмазах, изотопного состава углерода последних из двух расположенных рядом трубок свидетельствуют о сильной локальной дифференцированности пород верхней мантии, а также о различной глубине заложения очагов кимберлитового вулканизма даже для трубок, удаленных друг от друга всего на первые сотни метров.

Кимберлитовая трубка Интернациональная расположена в 16 км к юго-западу от трубки Мир на

правобережье р. Ирелях, в верхнем течении её правых притоков Маччоба-Салаа и Улаах-Юрях. На поверхности трубка имеет форму неправильного овала, вытянутого на северо-запад. Трубка разведана до глубины 955 м. В среднепалеозойское и мезозойское время около 400—450 м верхней части диатремы было уничтожено в результате длительной эрозии [5, 10]. От раструба сохранилась нижняя 120-метровая часть. Далее на глубину остатки раструба переходят в цилиндрический канал с почти вертикальными контактами. До глубины 1000 м размеры трубки существенно не уменьшаются. Трубка прерывает горизонтально залегающие терригенно-карбонатные породы нижнего ордовика и кембрия и перекрывается нижнеюрскими отложениями мощностью от 2,1 до 9,2 м. В раннетриасовое время трубка была перекрыта пластовым телом долеритов. Под перекрывающими трубку терригенными отложениями нижней юры отмечена КВ кимберлитов мощностью 12—50 см. На глубине 14,5 м залегают слоистые породы с чередованием мелко- и крупнопорфирового кимберлита. Прослои (мощностью от 1 до 5 см) сложены различными по размеру зернами измененного оливина, пирропа и пикроильменита. В мелкопорфировых кимберлитах количество псевдоморфоз серпентина и кальцита по оливину не превышает 10—20%, тогда как в крупнопорфировых оно достигает 50—60% объёма породы. В верхних горизонтах диатремы

обособляется два типа пород — кимберлитовые брекчии, которые резко преобладают (около 99%) и массивные кимберлиты. В этих породах псевдоморфозы серпентина и кальцита по оливину, относительно редкие зерна пирропа, хромшпинелида, пикроильменита и хромдиоксида сцементированы карбонат-серпентиновым агрегатом. Из ксенолитов распространены обломки терригенно-карбонатных пород нижнего палеозоя (5—15, редко до 30%). В небольшом количестве присутствуют включения траппов, а также единичные обломки кристаллических сланцев фундамента СП. Особенностью кимберлитов описываемой трубки (до глубины 370 м) является относительно высокое содержание примеси терригенного материала вмещающих пород. Последний представлен песчанистой, алевролитистой и глинистой фракциями и состоит из кварца, полевых шпатов, турмалина, сфена, ставролита и монтмориллонита, которые практически полностью исчезают с глубины 500 м. С глубиной строение кимберлитовой диатремы усложняется. Здесь выделены кимберлиты трех фаз внедрения, мало различающиеся между собой по строению, составу и алмазности. Кимберлиты трубки Интернациональная уникальны по содержанию алмаза [10]. Характерными свойствами алмазов трубки Интернациональная являются (рис. 3): резкое преобладание кристаллов октаэдрического габитуса 1-й разновидности, при высоком содержании плоско-

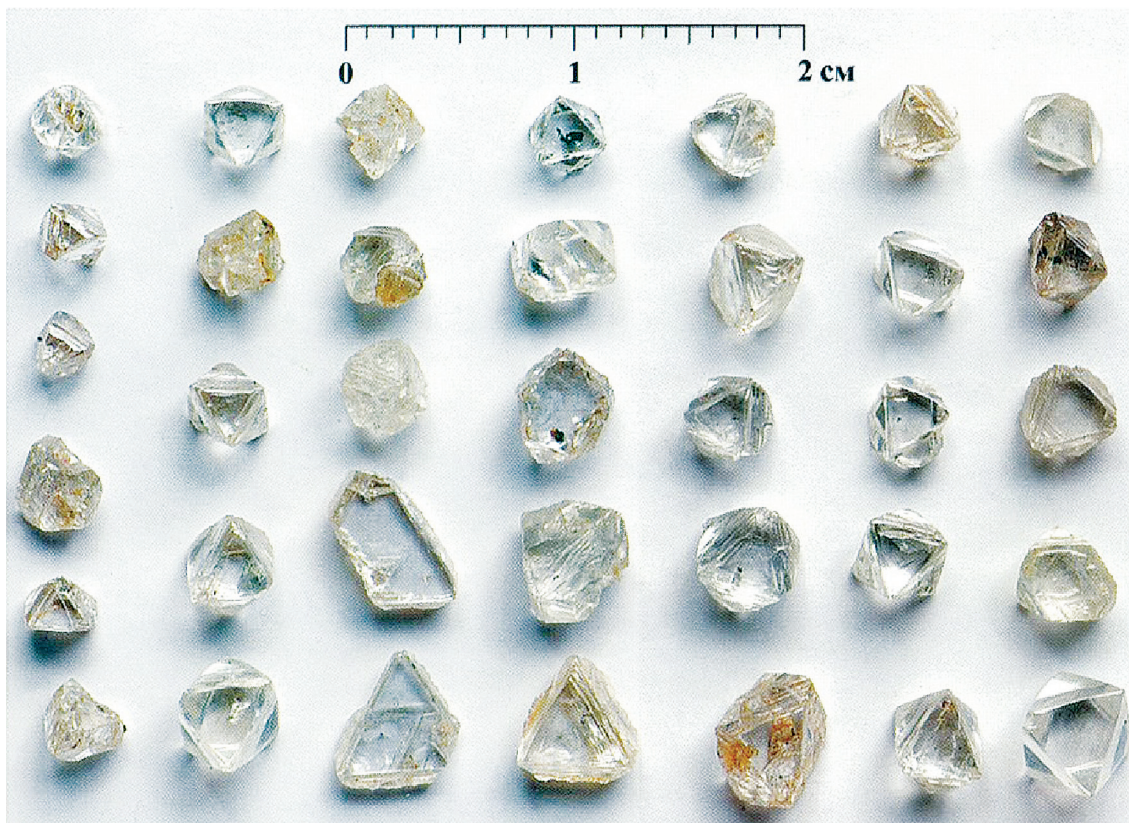


Рис. 3. Алмазы из кимберлитов трубки Интернациональная (МБАР)

гранных остросереберных октаэдров, невысокая ламинарность, низкое содержание двойников и сростков, представленных преимущественно двойниками по шпинелевому закону и низкое содержание камней с признаками природного травления. Также для них отмечена повышенная степень прозрачности, невысокое содержание окрашенных индивидов и кристаллов с твёрдыми включениями. Следует отметить преобладающую розово-сиреневую фотолюминесценцию и высокое содержание примесного азота в А-форме, составляющего 78% от общей концентрации примесного азота. Из числа минералогических разновидностей очень редкими являются окрашенные жёлтые и серые комбинационные многогранники с оболочкой IV разновидности и поликристаллические агрегаты VIII разновидности. Постоянно присутствуют грязно-фиолетовые октаэдры. От трубки Мир алмазы диаметры Интернациональная отличаются незначительно, за исключением несколько пониженного количества груболаминарных октаэдров с полицентрически растущими гранями.

Кимберлитовая трубка имени XXIII съезда КПСС, расположенная в 14 км к юго-западу от трубки Мир, приурочена к Западному региональному разлому. Она полностью перекрыта 12–20-метровой толщей нижнеюрских кластических отложений, в которой выделены [7, 10] две пачки: нижняя отнесена к укугутской свите, верхняя — к домерскому ярусу. Размер трубки на поверхности 120×80 м, форма овальная, длинная ось ориентирована на северо-запад. В верхней части разреза трубка имеет крутопадающие контакты, которые уже на глубине 100 м заметно выполаживаются (рис. 4). На глубине 150 м диатрема принимает дайкообразную форму. Трубка прорывает горизонтально залегающие терригенно-карбонатные отложения нижнего ордовика и кембрия. В верхней части трубки сохранилась КВ кимберлитов мощностью 8–12 м, глинистая составляющая которой представлена монтмориллонитом, монтмориллонит-гидрослюдистыми смешанослойными образованиями с примесью каолинита, гидрослюды, хлорита и серпентина. Из первичных минералов КВ кимберлитов трубки встречены пироп, пикроильменит и хромит. Монолитная порода из более глубоких горизонтов диатремы представлена кимберлитовой брекчией с микролитовой основной массой. Количество обломочного материала варьирует в пределах 5–40%, псевдоморфозы карбоната и серпентина по оливи-ну составляют 20–30% объема породы. Среди ксенолитов коровых пород наблюдаются известняки, доломиты и мергели, реже — измененные кристаллические сланцы и траппы. Из ксенолитов редко встречающихся ультраосновных пород встречены деплетированные ультрабазиты. Типоморфными особенностями алмазов трубки имени XXIII съезда КПСС являются следующие: резкое преобладание

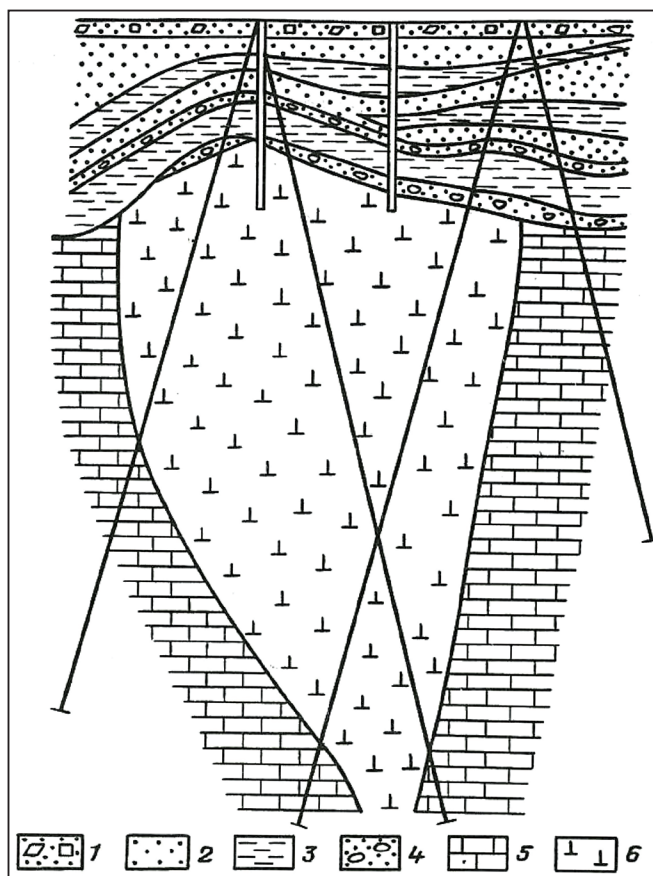


Рис. 4. Разрез кимберлитовой трубки имени XXIII съезда КПСС (МБАР): 1 — делювиальный слой; 2–4 — отложения нижней юры: 2 — песчаники, 3 — алевролиты, 4 — конгломераты; 5 — карбонатные породы усть-кутского яруса нижнего ордовика; 6 — кимберлиты

кристаллов октаэдрического габитуса 1-й разновидности, при высоком содержании плоскогранных остросереберных октаэдров и пониженной степени ламинарности по сравнению с трубками Мир и Интернациональная. Невысоким является содержание двойников и сростков, при резком преобладании шпинелевых двойников треугольной формы, и низкое содержание кристаллов с признаками природного травления. Для алмазов характерны высокая степень прозрачности, при максимальном среди известных месторождений голубовато-зелёных камней цвета морской волны радиационного происхождения и низкое содержание кристаллов с твёрдыми включениями. Алмазы характеризуются преобладающей розово-сиреневой фотолюминесценцией и высоким содержанием примесного азота в А-форме, составляющего 79% от общей концентрации примеси азота в них [7].

Трубка Дачная, приуроченная к Параллельному разлому, располагается в 10 км южнее трубки Мир. Она перекрыта юрскими отложениями мощностью от 15 до 21 м (рис. 5). Размеры трубки 120×100 м, форма в виде овала, длинная ось которого ориентирована в северо-западном направлении. Самая верхняя часть трубки сложена сильно измененной породой КВ, практически лишенной первичной

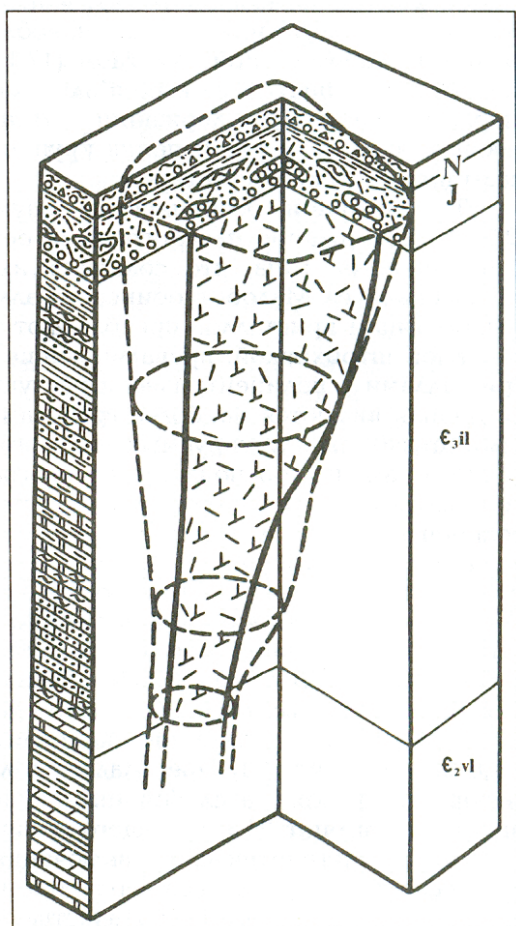


Рис. 5. Блок-диаграмма кимберлитовой трубки Дачная

структуры кимберлита. С глубины 65 м в диатреме развиты в различной степени изменённые породы с сохранившимися структурами, нередко затухшими бурыми железистыми новообразованиями. Обломки вмещающих терригенно-карбонатных пород, зёрна кварца, полевых шпатов и других минералов, редко встречающихся выделениями траппов и кристаллических сланцев фундамента платформы сцементированы кимберлитовым материалом, состоящем из псевдоморфоз по оливи-ну, выполненных монтмориллонитом, серпенти-ном, карбонатов, редких зёрен пироба, пикроиль-менита, хромшпинелида, заключенных в агрегате серпентин-монтмориллонит-карбонатного состава. Трубка характеризуется повышенным содержи-мом ИМК (пироба, пикроильменита и хромшпине-лида). Особенности алмазов трубки Дачная яв-ляются (рис. 6) преобладание кристаллов октаэ-дрического габитуса 1-й разновидности, при высо-ком содержании плоскогранных осторёберных октаэдров, причём степень ламинарности является минимальной среди алмазов богатых кимберли-товых тел МБАР. Также для них характерно невысо-кое содержание двойников и сростков, представ-ленных преимущественно шпинелевыми двойни-ками треугольной формы и низкое содержание кристаллов с признаками природного травления. Другими особенностями алмазов являются высо-кая степень прозрачности и низкое содержание окрашенных кристаллов, а также невысокое содер-жание камней с твёрдыми включениями. Для ал-

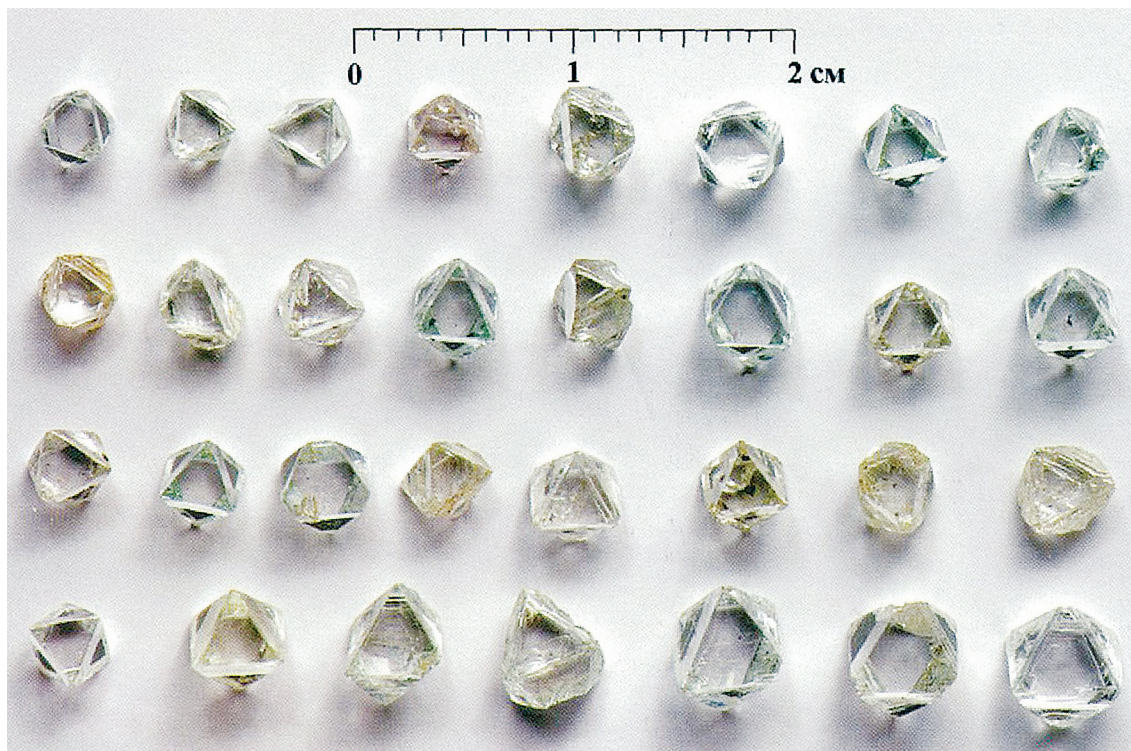


Рис. 6. Алмазы из кимберлитов трубки Дачная, лучшие по качеству (МБАР)

мазов, в отличие от сырья других богатых кимберлитовых тел МБАР, типична преобладающая синеголубая фотолюминесценция при высоком содержании примесного азота в А-форме [7].

Таким образом, в Мирнинском поле выделяются три группы кимберлитовых тел, резко различающихся по типоморфным особенностям алмазов, связанные с тремя разделенными во времени фазами кимберлитового магматизма (I — жила Ан-21, II — трубки Таежная и Амакинская и III — трубки Мир, Интернациональная, имени XXIII съезда КПСС, Дачная и Спутник). Для первой (наиболее ранней) группы характерно низкое содержание октаэдров с преобладанием индивидов ромбододекаэдрического габитуса, представленных в основном окрашенными в дымчато-коричневые цвета додекаэдроиды с шагренью и полосами пластической деформации «жильного» типа, и преобладание алмазов с синеголубым и зелёным свечением. Во второй группе отмечается примерно равное соотношение кристаллов октаэдрического и ромбододекаэдрического габитусов при сравнительно низком (первые проценты) содержании типичных округлых алмазов и превалированием индивидов с синеголубой фотолюминесценцией. В трубке Амакинская алмазы из даечной фации отличаются из трубочных тел, причём первые по своим типоморфным особенностям близки к жиле Ан-21. Третья, наиболее высокопродуктивная группа кимберлитовых тел, характеризуется резким преобладанием груболаминарных кристаллов октаэдрического и переходного от него к ромбододекаэдрическому габитусов, при низком (менее 10%) содержании индивидов ромбододекаэдрического габитуса, среди которых практически отсутствуют типичные округлые алмазы. Отмечается небольшое число двойников и сростков, преобладание кристаллов с розово-сиреневой фотолюминесценцией и без признаков видимого свечения, при низком содержании индивидов с синеголубым свечением. Имеющиеся данные свидетельствуют об отсутствии резких отличий алмазов в пределах отдельных рудных столбов из группы высокопродуктивных кимберлитовых тел. Типоморфными особенностями является также низкое содержание поликристаллических агрегатов и индивидов с признаками природного растворения и травления, превалирование среди включений в алмазах минералов-узников ультраосновной ассоциации.

Из сказанного следует, что типоморфными особенностями четырех промышленно-алмазоносных кимберлитовых тел МБАР являются следующие: резкое преобладание алмазов 1-й разновидности, среди которых (71—82%) превалируют кристаллы октаэдрического габитуса, значительную часть из них (16,3—23,2%) составляют плоскогранные остро-рёберные октаэдры. Типичные округлые алмазы уральского (бразильского) типа практически отсут-

ствуют. Отдельные кимберлитовые тела заметно отличаются по степени ламинарности (соотношение индивидов с полицентрически растущими гранями к кристаллам со сноповидной и занозистой штриховками). Содержание алмазов с оболочкой IV разновидности и поликристаллических сростков VIII разновидности низкое. Из других типоморфных особенностей алмазов следует отметить низкое (8,2—20%) содержание двойников и сростков, представленных в основном двойниками по шпинелевому закону преимущественно треугольной формы, и низкое содержание кристаллов с признаками природного травления, представленных в основном шрамами. Алмазам свойственна повышенная степень прозрачности и пониженное (21,8—31%) число окрашенных камней лилово-коричневого цвета слабой интенсивности. В КВ трубки имени XXIII съезда КПСС преобладали кристаллы цвета морской волны радиационного происхождения. Для алмазов типично низкое (16,2—26,4%) содержание твёрдых включений, преимущественно эпигенетических графит-сульфидных при высоком (4,0—7,5%) содержании сингенетических включений в основном ультраосновной ассоциации (99,4%). Гамма фотолюминесцентных особенностей заметно различается при преобладании в большинстве кимберлитовых тел кристаллов с розово-сиреневой фотолюминесценцией. Для алмазов характерно высокое (> 600 ат. ppm) содержание примесного азота в А-форме, который является основной примесью азота (75—78% от общего содержания А и В1- дефектов). Содержание водородных центров (Н) низкое (<1,0 см⁻¹). Также низким является содержание «пластиночных» (Р или В₂) дефектов (3,4—3,5 см⁻¹). По этим примесным структурно-активным дефектам алмазы из богатых кимберлитовых тел МБАР резко отличаются от месторождений Далдыно-Алакитского района (содержание А-центра в 2—3 раза выше, водородных центров (Н) — в 2—2,5 раза ниже и «пластиночных» дефектов (Р или В₂) — в 2—3 раза ниже). Это указывает на различие термодинамических и геохимических условий образования алмазов двух основных алмазоносных районов СП.

Сравнительное комплексное изучение разновозрастных россыпей МБАР показало их полигенность и существование смешанных ореолов. Значимых отличий алмазов из верхнепалеозойских и мезозойских отложений в пределах одного и того же участка нами не установлено (россыпи Солур и Восточная). В россыпях МБАР в целом зафиксировано преобладание алмазов октаэдрического и переходного от октаэдрического к ромбододекаэдрическому габитусов 1-й разновидности (третья группа трубок), однако в ряде изученных россыпей содержание кристаллов с синеголубой фотолюминесценцией достигает иногда 40%, что не типично для диатрем Мир и Интернациональная, но

присуще второй группе трубок. Несмотря на близкий между собой спектр алмазов из россыпей МБАР, зафиксированы и некоторые отличительные черты от алмазов вблизи находящихся кимберлитовых диатрем. В частности, суммарное содержание кристаллов октаэдрического и переходного от октаэдрического к ромбододекаэдрическому габитусов в большинстве россыпей примерно на 10% ниже, чем в кимберлитовых диатремах третьей группы (Мир, Интернациональная, Дачная, имени XXIII съезда КПСС и Спутник) и одновременно несколько выше роль ламинарных ромбододекаэдров. В россыпях

района несколько больше плоскогранных октаэдров, чем в трубке Интернациональная и меньше, чем в трубке Мир. В ряде россыпей МБАР установлено присутствие алмазов разновидности «удачнинского» типа, представленных равномерно окрашенными в жёлтый цвет октаэдрами с занозистой штриховкой и блоковой скульптурой, для которых установлен лёгкий ($\delta^{13}\text{C} -14,7\text{‰}$) изотопный состав углерода. Всё это позволяет предполагать наличие в районе ещё неоткрытых коренных источников алмаза с несколько иными характеристиками кристаллов, чем в охарактеризованных выше диатремах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бартошинский З.В. Сравнительная характеристика алмазов из различных алмазоносных районов Западной Якутии // Геология и геофизика. 1961. № 6. С. 40–50.
2. Бартошинский З.В. Минералогическая классификация природных алмазов // Минералогический журнал. 1983. Т. 5. № 5. С. 84–93.
3. Галимов Э.М. Вариации изотопного состава алмазов и связь их с условиями алмазообразования // Геохимия. 1984. № 8. С. 1091–1117.
4. Гневушев М.А., Бартошинский З.В. К морфологии якутских алмазов // Тр. ЯФ СО АН СССР. Сер. геол. 1959. Вып. 4. С. 74–92.
5. Зинчук Н.Н., Коптиль В.И. Типоморфизм алмазов Сибирской платформы. М.: Недра, 2003. 603 с.
6. Зинчук Н.Н., Коптиль В.И., Борис Е.И. Основные аспекты разномасштабного районирования территорий по типоморфным особенностям алмазов (на примере Сибирской платформы) // Геология рудных месторождений. 1999. Т. 41. Вып. 16. № 6. С. 516–526.
7. Зинчук Н.Н., Коптиль В.И., Борис Е.И., Липашова А.Н. Типоморфизм алмазов из россыпей Сибирской платформы как основа поисков алмазных месторождений // Руды и металлы. 1999. № 3. С. 18–30.
8. Орлов Ю.Л. Минералогия алмаза, 2-е изд. М.: Наука, 1984. 264 с.
9. Рожков И.С., Михалев Г.П., Зарецкий Л.М. Алмазоносные россыпи Мало-Ботуобинского района Западной Якутии. М.: АН СССР, 1963. 137 с.
10. Харьков А.Д., Зинчук Н.Н., Крючков А.И. Геолого-генетические основы шлихо-минералогического метода поисков алмазных месторождений. М.: Недра, 1995. 348 с.

REFERENCES

1. Bartoshinsky Z.V. Comparative characteristics of diamonds from various diamondiferous regions of Western Yakutia. *Geology and geophysics*, 1961, no 6, pp. 40–50. (In Russian).
2. Bartoshinsky Z.V. Mineralogical classification of natural diamonds. *Mineral. Journal*, 1983, V. 5, no 5, pp. 84–93. (In Russian).
3. Galimov E.M. Variations of isotopic composition of diamonds and their relationship with conditions of diamond formation. *Geochemistry*, 1984, no 8, pp. 1091–1117. (In Russian).
4. Gnevushev M.A., Bartoshinsky Z.V. To morphology of Yakutian diamonds. *Proceedings of SB YS of the USSR AS. Geol. series* 1959, Is. 4, pp. 74–92. (In Russian).
5. Zinchuk N.N., Koptil V.I. Typomorphism of the Siberian platform diamonds. M., Nedra Publ, 2003, 603 p. (In Russian).
6. Zinchuk N.N., Koptil V.I., Boris E.I. Basic aspects of different in scale zoning of territories according to typomorphic features of diamonds (on the example of the Siberian platform). *Geol. of ore deposits*, 1999, V. 41, Is. 16, no 6, pp. 516–526. (In Russian).
7. Zinchuk N.N., Koptil V.I., Boris E.I., Lipashova A.N. Typomorphism of diamonds from placers of the Siberian platform as the basis for prospecting of diamond deposits. *Ores and metals*, 1999, no 3, pp. 18–30. (In Russian).
8. Rozhkov I.S., Mikhalev G.P., Zaretsky L.M. *Diamondiferous placers of Malo-Botuobinsky region of Western Yakutia*. M., USSR AS Publ., 1963, 137 p. (In Russian).
9. Orlov Y.L. *Mineralogy of diamond*. M., Science Publ, 1984, 264 p. (In Russian).
10. Kharkiv A.D., Zinchuk N.N., Kryuchkov A.I. *Geologic-genetic fundamentals of heavy concentrate-mineralogical method of diamond deposits prospecting*. M., Nedra Publ, 1995, 348 p. (In Russian).

КАЛИЙНЫЕ И КАЛИЙНО-МАГНИЕВЫЕ СОЛИ ПОГОЖСКОЙ РИТМОПАЧКИ ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ СЕВЕРНОГО ВНЕШНЕГО БОРТОВОГО ОБРАМЛЕНИЯ ПРИКАСПИЙСКОЙ ВПАДИНЫ: ЛИТОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ И УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ

М.В. СОЛОМОН, О.П. ГОНЧАРЕНКО, Г.А. МОСКОВСКИЙ

*Саратовский национальный исследовательский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского
83, Астраханская ул., Саратов 410012, Россия
email: solomonmv@list.ru*

Приведены сведения о возможной промышленной калиеносности галогенных отложений погожской ритмопачки в пределах западной части на севере Прикаспийской впадины. Показано, что детальные литологические и геохимические исследования, с построением карт мощностей позволяют выделять наиболее перспективные интервалы разреза с калийной минерализацией, учитывать направление выклинивания продуктивных интервалов и, как следствие, выбирать первоочередность участков для поисковых работ. Калийная минерализация хлоридного типа представлена карналлитами и сильвинитами. Последние являются основным источником калийной руды. Сульфатные соли — каинит и кизерит, выделены только в пределах северо-западной части впадины. Установлено, что сильвинитовый пласт сформировался в результате поступления в акваторию бассейна с рапой карналлит-бишофитовой стадии растворов меньшей концентрации (на уровне галитовой стадии). Выявлено, что сильвин калиеносных интервалов разреза погожской ритмопачки является продуктом разложения карналлита.

К л ю ч е в ы е с л о в а: Прикаспийская впадина; калийные соли; сильвиниты; карналлиты; галогенная седиментация.

DOI:10.32454/0016-7762-2019-1-51-59

POTASH AND POTASSIUM-MAGNESIUM SALT OF POGOJSKOE RHYTHMIC MEMBER OF THE WESTERN PART OF THE NORTHERN OUTER SIDE OF THE BOARDER OF THE CASPIAN DEPRESSION: LITHOLOGICAL FEATURES AND FORMATION CONDITIONS

M.V. SOLOMON, O.P. GONCHARENKO, G.A. MOSCOWSKY

*Saratov State University
83, Astrakhanskaya str.; Saratov 410012, Russia
email: solomonmv@list.ru*

The data has been given on the possible commercial potassium content of halogen sediments from the Pogozhskaya rhythmic member within the Western part of the North Caspian depression. It has been shown that the detailed lithological and geochemical studies, with the construction of the thickness maps, allow allocating in the section the most promising intervals with the potassium mineralization, as well as the taking into account the direction of nipping of the productive intervals and, as a consequence, choosing the priority of the sites for prospecting. Chloride type of potassium mineralization is represented by carnallites and sylvinites. The latter are the main source of the potassium ore. Sulfate salt — kainite and kieserite - are allocated only within the North-Western part of the basin. It has been found that the sylvinite layer was formed as a result of entering of the solutions with lower concentration (at the level of the halite stage) to the water basin with the strong brine of carnallite-bischofite stage. It has been revealed that the sylvite from the potash intervals of the section of the pogozhskaya rhythmic member is a product of the decomposition of carnallite.

K e y w o r d s: Caspian sea depression; potash salt; sylvinite; carnallite; halogen sedimentation.

Исследование калиеносности галогенных отложений погожской ритмопачки (иренский горизонт кунгурского яруса нижней перми) западной части на севере Прикаспийской впадины было начато в

1988 г. — пробурена скважина Краснокутская 1-К [9, 11]. В разрезе, в кровельной части ритмопачки, отмечено присутствие горизонта сильвинитов, а также выделена продуктивная галогенная калие-

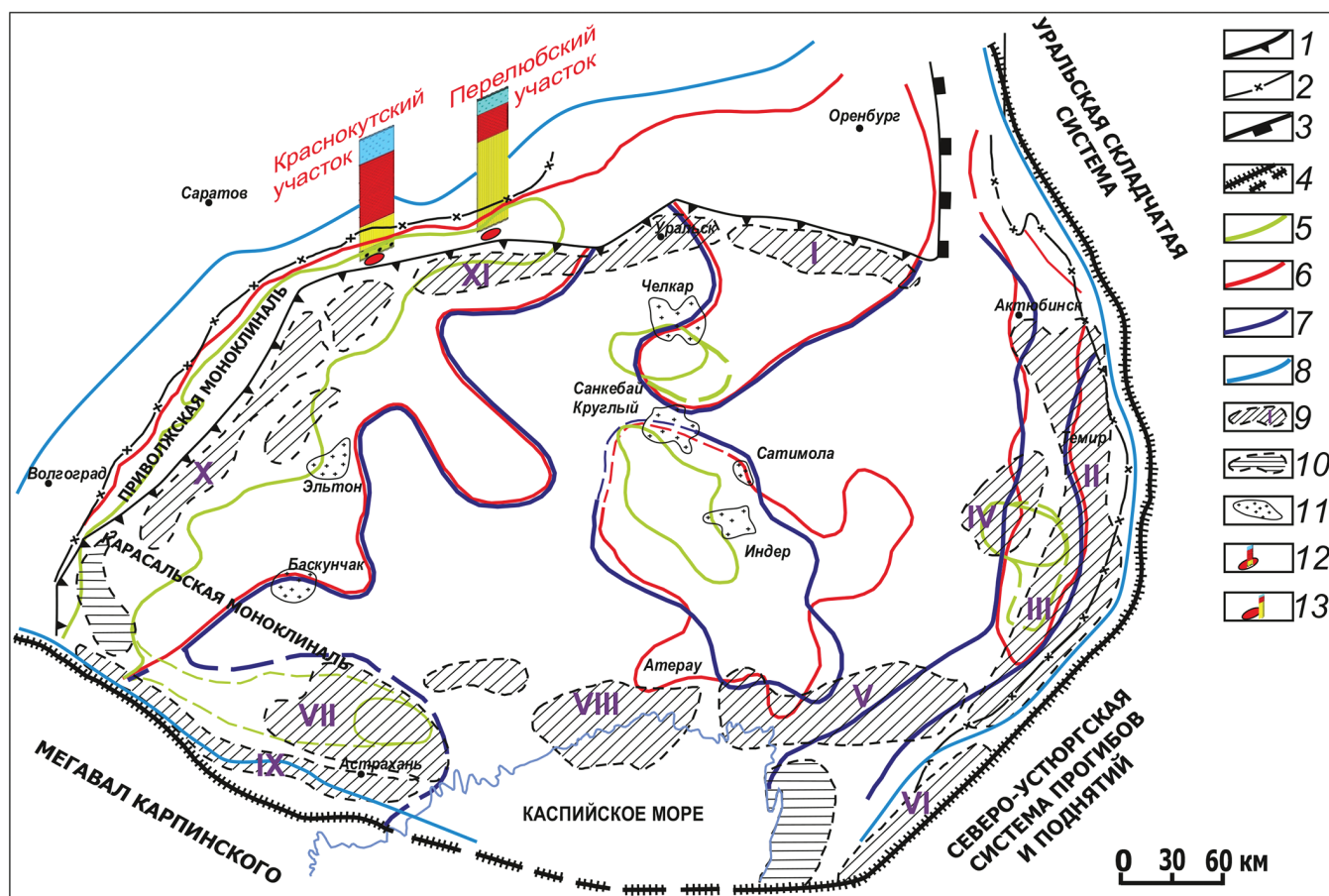


Рис. 1. Карта-схема фактического материала: 1 – граница бортового уступа; 2 – граница соляных отложений; 3 – западная граница Предуральского краевого прогиба; 4 – глубинные нарушения, разделяющие границы распространения солевых отложений; 5 – контуры зон бишофитсодержащих пород; 6 – контуры зон карналлитсодержащих пород; 7 – контуры зон сильвинсодержащих пород; 8 – контур распространения каменной соли; 9 – своды, мегавалы: I – Карагаганакско-Кобландинский, II – Имбекский, III – Тамдыкольский, IV – Кзылджарский, V – Биикжалский, VI – Южно-Эмбенский, VII – Северо-Каспийский, VIII – Астраханский, IX – Карабулакско-Беркульский, X – Ахтубинско-Палласовский, XI – Алтатинско-Деркульский; 10 – зоны поднятия; 11 – солянокупольные структуры; 12 – Краснокутский участок; 13 – Перелюбский участок

носная зона. Анализ геологической информации по калиености галогенных отложений северо-западной части бортовой зоны впадины позволил предположить наличие продуктивной зоны и в северо-восточной части Прикаспия. Так, в 2014–2016 гг. на Перелюбском участке (западном и восточном) в результате бурения скважин и опробования перспективных горизонтов подтверждена промышленная калиеность галогенных отложений погожской ритмопачки [8]. Карта-схема фактического материала приведена на рис. 1.

Условия и закономерности галогенного процесса в эвапоритовых бассейнах детально рассмотрены в работах М.Г. Валяшко [1, 2], В.И. Копнина [4, 5], А.М. Кудряшова [6], Г.А. Московского, О.П. Гончаренко [7]. Согласно классическим представлениям садка карналлита должна следовать после сильвина. В разрезах западной части Прикаспийской впадины «первичный» сильвин, возникший в результате седиментации, образует тонкие сильвинсодержащие прослои (иногда до 15 см), не имеющие практической значимости. Модели формирования сильвина (термофильная, криофиль-

ная, за счёт процесса его высаливания из рапы карналлитовой стадии сгущения; за счёт замещения им карналлита [8]) позволяют решать не только генетические задачи, но и выделять перспективные участки для добычи калийных пород, с указанием в разрезе наиболее качественных разностей.

Цель исследований — выявить условия формирования галогенных пород, слагающих продуктивную толщу. Задача — провести комплексные литологические исследования кернового материала калийных и калийно-магниевых пород погожской ритмопачки северо-восточной части внешней бортовой зоны (Перелюбский участок) и сопоставить их с имеющимися данными северо-западной части (Краснокутский участок).

Материалы и методы

В основу работы положено исследование кернового материала, отобранного из перспективных интервалов галогенного разреза, выделяемых по данным промысловой и разведочной геофизики в

Перелюбских скважинах и скважине Краснокутской 1-К. Всего проанализировано 145 образцов. Были изготовлены аншлифы, шлифы, и крупно-размерные шлифы для дальнейшего их сканирования, выявления структурных взаимоотношений галогенных минералов при помощи поляризационного микроскопа Axioskop 40, фирмы Carl Zeiss. Крупноразмерные шлифы необходимы по следующим причинам: в галогенном разрезе присутствуют интервалы частой смены литологических разновидностей галоидов. Толщина отдельных слоев в таких случаях может не превышать 10–15 мм. Для отражения реальной картины смены условий галогенной седиментации желательнее рассматривать препарат, захватывающий по возможности большее число ритмов.

Для выявления условий формирования минералов соляных толщ использовался рентгенофлуоресцентный анализ (РФА) на микроэлементы — Br, Cl (60 образцов) при помощи энергодисперсионного рентгеновского флуоресцентного спектрометра EDX-720, фирмы SHIMADZU (анализ про-

водился в институте химии Саратовского государственного университета). Результаты РФА приведены в табл. 1.

Фактический материал

Состав калиевого интервала галогенного разреза погужской ритмопачки в пределах Краснокутского участка. Ритмопачка в интервале 1037,5–1041 м представлена каменной солью бессолевой. Каменная соль сменяется сильвинитом красновато-бурым, крупнокристаллическим с прослойками серого сульфатного и глинистого материала (глубина 1041–1041,5 м) — рис. 2, А, и сильвинитом бело-серым (глубина 1041,5–1044,6 м). Сильвин в породе (рис. 2, А) вторичный (апикариалитовый), что подтверждается неравномерной зернистостью и сгустками красящего гематитового вещества, обычно остающегося после разложения железосодержащего карналлита. В шлифах отмечаются сложные по форме кристаллы сильвина (рис. 2, Б), обрамленные каёмками гидроксидов железа. Наличие реликтовых блоков мутно-белого

Таблица 1

Содержание Br, Cl и значения Br-Cl коэффициента по данным РФА в образцах Перелюбского участка

Номер п/п	Номер скважины	Номер образца	Глубина, м	Описание пород	Содержание		Br×10 ³ /Cl
					Br	Cl	
1	101	101/1	687,45	Сильвинит молочно-белый, крупнокристаллический с линзовидными прослоями ангидрита	0,166	59,47	2,79
2	101	101/2	687,95	Сильвинит загрязненный ангидритом	0,187	60,47	3,09
3	101	101/3	686,61	Сильвин-Галитовая порода	0,178	56,68	3,14
4	101	101/4	689,08	Сильвинит, загрязненный ангидритом	0,183	60,54	3,02
5	101	101/5	690,41	Сильвинит, загрязненный глинисто-ангидритовым материалом	0,163	54,55	2,99
6	101	101/6	691,59	Сильвинит мелкозернистый красный	0,167	59,35	2,81
7	107	107/79	813,35	Сильвинит молочно-белый, с прожилками ангидрита	0,174	55,47	3,13
8	107	107/81	814,00	Сильвинит молочно-белый, с прожилками ангидрита	0,177	60,02	2,95
9	107	107/95 си	833,53	Карналлит красновато-светло-серый	0,312	50,05	6,23
10	107	107/96 си	835,63	Карналлит красновато-светло-серый	0,298	50,12	5,90
11	107	107/97 си	836,73	Галит-карналлитовая порода	0,267	50,48	5,29
12	107	107/87	817,05	Сильвинит молочно-белый, красный	0,171	59,80	2,86
13	109	109/9си	768,49	Сильвинит белый, розовато-оранжево-серый	0,136	62,16	2,19
14	109	109/10си	768,84	Сильвинит белый, оранжевый	0,176	61,91	2,84
15	109	109/11си	769,24	Сильвинит белый, розовато-оранжево-серый, разнозернистый	0,182	63,02	2,89
16	109	109/12си	770,22	Сильвинит серый, оранжево-серый, разнозернистый	0,183	64,05	2,86
17	109	109/14си	771,72	Галит-карналлитовая порода	0,363	49,82	7,29
18	203	203/3си	803,36	Сильвинит светло-серый	0,266	61,50	4,34
19	203	203/7си	1017,73	Сильвинит красновато-коричнево-серый, разнозернистый	0,121	64,60	1,87
20	203	203/8си	1018,11	Сильвинит красновато-коричнево-серый, разнозернистый	0,205	59,50	3,44
21	203	203/9си	1018,17	Сильвинит красновато-коричнево-серый, разнозернистый	0,261	57,50	4,54
22	203	203/10си	1019,75	Сильвинит красновато-коричнево-серый, разнозернистый	0,249	55,40	4,49
23	203	203/14си	1028,64	Карналлит мясо-красный, разнозернистый	0,273	33,01	8,27
24	203	203/15си	1030,92	Карналлит светло-серый, разнозернистый	0,173	28,0	6,07

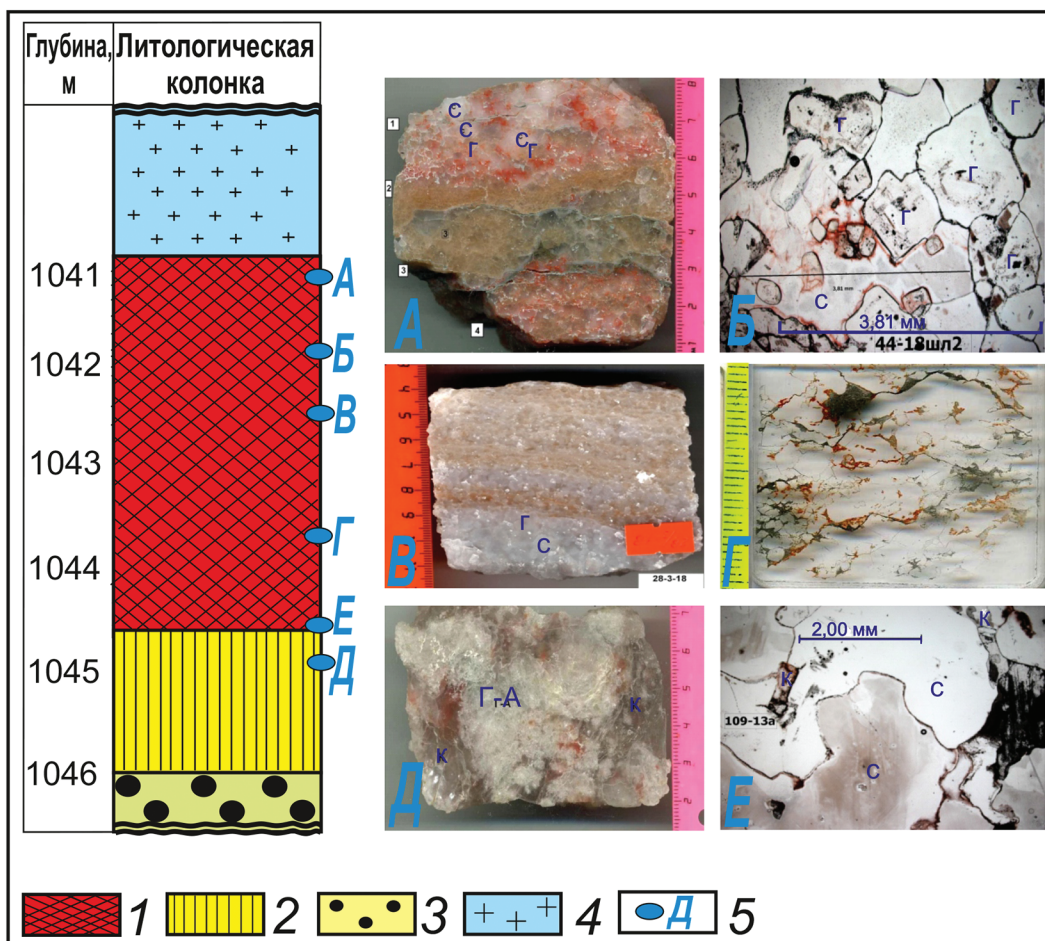


Рис. 2. Особенности минерального состава пород, слагающих продуктивный горизонт в пределах Краснокутского участка: А – ритмично-слоистый сильвинит, сканированный аншлиф; Б – сложный по морфологии кристалл сильвина (без анализатора); В – переход от крупнокристаллического к среднекристаллическому сильвиниту (снизу вверх), сканированный аншлиф; Г – сильвинит неравномерно-зернистый со слоями пелита и каёмками гидроксидов железа, сканированный шлиф; Д – галит-карналлитовая порода, сканированный аншлиф; Е – вкрапленник карналлита в зоне инкорпорационных контактов кристаллов сильвина и мелкого кристалла галита; обозначение минералов (А–Е): с – сильвин, г – галит, к – карналлит, г-а – галит-ангидритовый участок породы; 1 – сильвиниты, 2 – карналлиты, 3 – бишофиты, 4 – каменная соль, 5 – привязка образца к глубине отбора

цвета и бесцветные каёмки вокруг них, указывают на формирование сильвина в две стадии. Выщелачивание карналлитовой породы привело к формированию апокарналлитового сильвина, однако через породу прошла еще и инфильтрация рассола, которая привела к перекристаллизации краевых частей зерен с перераспределением газовых включений по площади образца.

На рис. 2, В отмечается переход от крупнокристаллического к среднекристаллическому сильвиниту и распределение рассеянной и сконцентрированной в виде тонких слоев примеси ангидрита. Иногда присутствуют каёмки гидроксидов железа (рис. 2, Г).

Интервал 1044,6–1046 м представлен карналлитовыми и галит-карналлитовыми породами (рис. 2, Д). Последние фиксируют начало стадии поступления растворов меньшей концентрации, так как они залегают над бишофитовым пластом, отражающим максимум сгущения рапы. В карналлитовой поро-

де встречаются интервалы с существенной примесью пелита. В шлифах отмечены кристаллы карналлита, ассоциирующие со сгустками пелитового материала. С ним же часто связана коррозия кристаллов сильвина (рис. 2, Е). Вблизи контакта сильвина с карналлитом видны признаки процесса замещения (?) галита высаливанием карналлитом [7, 8]. В интервале 1046,0–1059,0 м залегает бишофитовая порода крупнокристаллическая, массивная, с редкими нитевидными невыдержанными слоями ангидрита.

Величина бром-хлорного коэффициента в галогенных интервалах следующая: от 0,8 до 1,5 в карналлит-галитовом слое и от 4,9 до 8,2 в карналлитовом, что отвечает середине и концу карналлитовой стадии. Перед садкой бишофита бром-хлорный коэффициент составлял 9,39. По разрезу бишофитового слоя это отношение возрастало до 10–15,9. Последние значения соответствуют средним стадиям садки бишофита [3]. Кристаллизация

бишофита прерывается поступлением рассолов, отвечающих стадии садки карналлита, что вызвало образование слоя карналлита, для которого значение бром-хлорного коэффициента уменьшается к кровле до 1,43, вследствие поступления в акваторию с рапой карналлит-бишофитовой стадии растворов с меньшей концентрацией ионов (на уровне галитовой стадии). С одной стороны, это приводило к массовому осаждению галита высаливания, а с другой — одновременному росту содержания калия в рапе карналлитовой стадии сгущения, определившего далее высаливание и хлорида калия [7].

Состав калиеносного интервала галогенного разреза погожской ритмопачки в пределах Перелюбского участка. Максимальная мощность сильвинитового пласта (6,7 м) отмечена в скважине 101 (Западно-Перелюбский участок). Полноценного бишофитового горизонта, характерного для погожской ритмопачки в разрезе скв. Краснукотская 1К, в новых разрезах не встречено. Однако карналлитовые породы, подстилающие сильвиниты, имеют признаки граничных условий карналлитовой и бишофитовой стадий галогенеза: а) реакционные каёмки с

системой крайне мелких кристаллов каинита, бишофита, реже кизерита, приуроченные к границам кристаллов, б) вкрапленники бишофита, в) высокие значения бром-хлорного коэффициента (7,98—8,27), соответствующие стадиям сгущения до стадии карналлита и даже начальной стадии бишофита.

Вскрытые новыми скважинами калиеносные породы сложены сильвинитами, сильвин-галитовыми породами с примесью карналлита и галитом высаливания.

Рассмотрим особенности минерального состава пород, слагающих продуктивную толщу Западно-Перелюбского участка. В скв. 107 в интервале 813—817 м горизонт представлен сильвинитами от молочно-белых до красновато-бурых (рис. 3, А, В, Д). В шлифах отмечаются агрегаты из нескольких гипидиоморфных кристаллов галита с реликтовой перистостью и клиновидными сгустками пелитового материала (рис. 3, Б), который захвачен и внутри кристаллов. Наличие широких прозрачных каёмок указывает на перекристаллизацию краевых частей зёрен и возможное образование минералов сульфатного (?) типа (каинита, кизерита). Сильвин

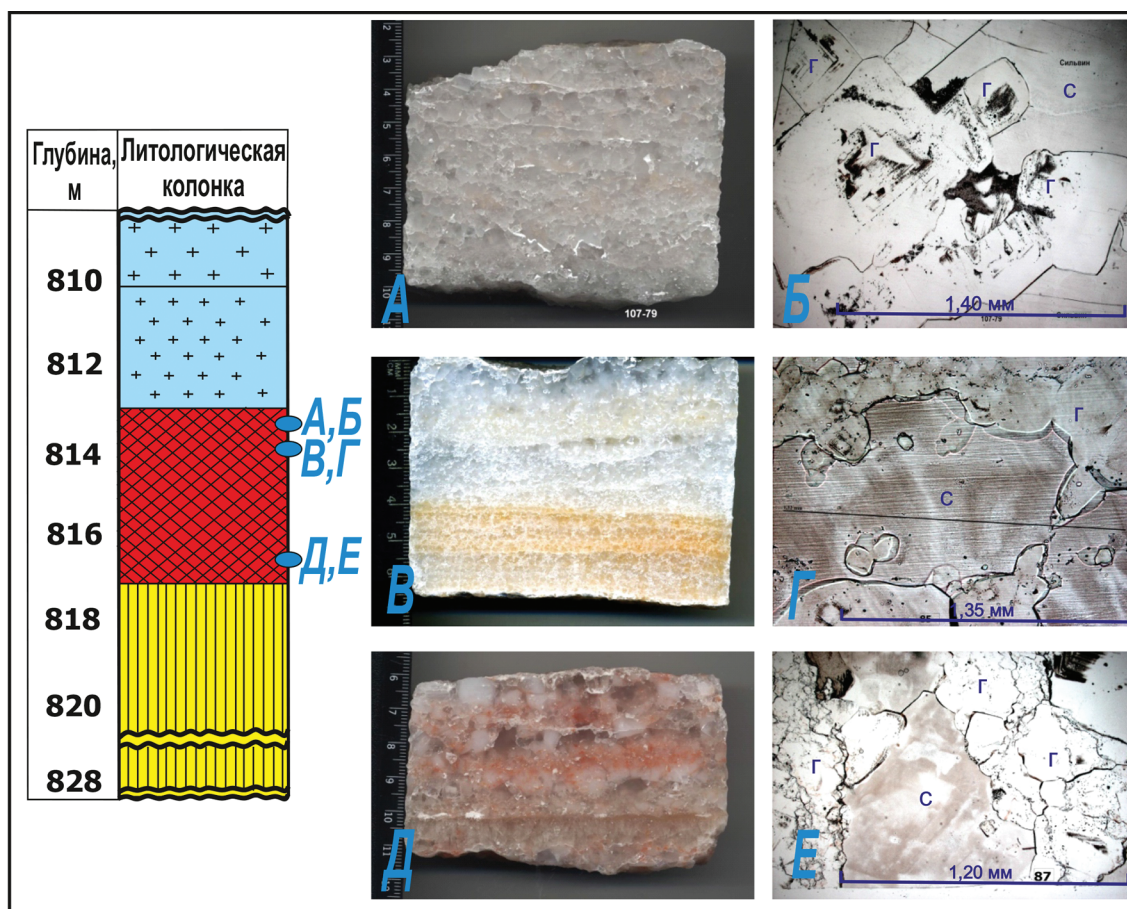


Рис. 3. Особенности минерального состава пород, слагающих продуктивный горизонт в пределах Западно-Перелюбского участка: А — молочно-белый сильвинит, сканированный аншлиф; Б — агрегат из нескольких гипидиоморфных кристаллов галита высаливания, без анализатора; В — желтовато-синий ритмично-слоистый сильвинит, сканированный аншлиф; Г — вытянутый кристалл сильвина, шлиф, без анализатора; Д — красновато-бурый сильвинит, сканированный аншлиф; Е — кристалл сильвина с неоднородным распределением микроскопических газовых пузырьков, шлиф, без анализатора; обозначение минералов (Б, Г, Е): с — сильвин, г — галит; усл. обознач. к литологической колонке см. рис. 2

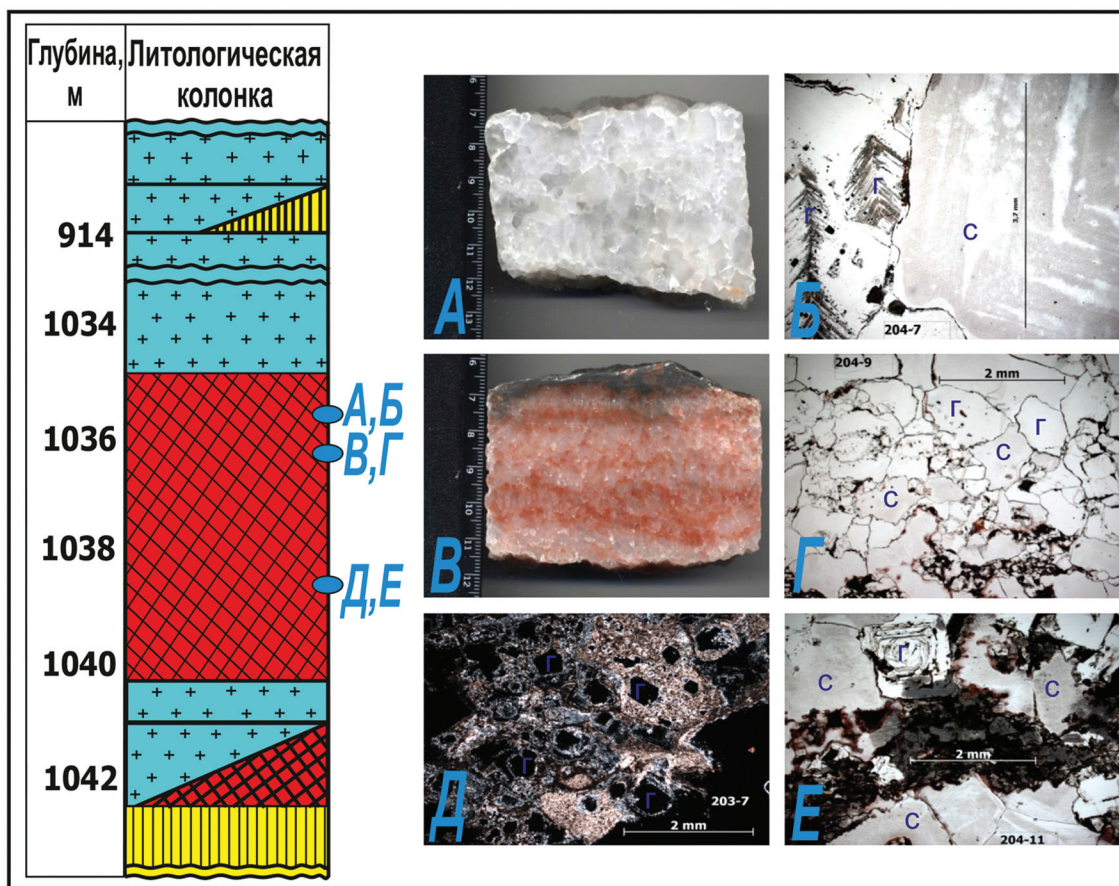


Рис. 4. Особенности минерального состава пород, слагающих продуктивный горизонт в пределах Восточно-Перелюбского участка: *A* — молочно-белый сильвинит, сканированный аншлиф; *B* — «перистый» галит (слева), зональный кристалл сильвина (справа), шлиф, без анализатора; *B* — красновато-бурый сильвинит, сканированный аншлиф; *Г* — корродированные мелкие кристаллы сильвина в зоне распространения пелитового материала, шлиф, без анализатора; *Д* — «очковая» микротекстура сильвинита (в центре очков — кристаллы галита высаливания), шлиф, с анализатором; *Е* — коррозия кристаллов сильвина на контакте с пелитом и с галитом высаливания, шлиф, без анализатора; обозначение минералов (*Б*, *Г*, *Д*, *Е*): *с* — сильвин, *г* — галит; усл. обознач. к литологической колонке см. рис. 2

представлен вытянутыми кристаллами, чередующимися с мелкими агрегатами галита (рис. 3, *Г*). Также встречаются кристаллы сильвина с «теневой структурой» — неоднородным распределением микроскопических газовых пузырьков, из-за чего в одних частях кристалл серый, в других — белый (рис. 3, *Е*). Сильвин с такой структурой вероятнее всего является продуктом разложения карналлита. При объяснении условий образования красного сильвина ещё Е.Э. Разумовская [10] предполагала, что оно связано с разложением карналлита.

Рассмотрим особенности минерального состава пород, слагающих продуктивную толщу Восточно-Перелюбского участка. В скв. 204 в интервале 1035—1040 м встречаются сильвиниты молочно-белые (рис. 4, *A*) и буровато-красные (рис. 4, *B*). В шлифах отмечен перистый галит с зонами роста, зафиксированных вакуолями включений рапы и пелитом. Галит граничит с крупным кристаллом молочно-белого сильвина со следами зональности (рис. 4, *Б*). Выделены послойно ориентированные интервалы, обогащенные пелитом, в которых сильвин корродирован. Сильвин фиксируется каёмка-

ми гидроксидов железа (рис. 4, *Г*). Для разрезов Восточно-Перелюбского участка также характерна «очковая» микротекстура сильвинита в интервале значительных скоплений пелит-ангидритового материала (рис. 4, *Д*). В центре «очков» — кристаллы галита высаливания, обрастающие ангидритом. Для данных разрезов (продуктивных интервалов) также как и на Западно-Перелюбском участке, в шлифах отмечаются «теневая структура» сильвина и его коррозия на контакте с пелитом и с галитом высаливания, захватившим существенное количество пелита (рис. 4, *Е*).

Обсуждение результатов

Таким образом, значения бром-хлорного коэффициента и данные литологических исследований позволяют предполагать, что сильвиниты продуктивного интервала Перелюбских участков формировались при периодическом подтоке менее сгущённой рапы (что подтверждается массовым присутствием галита высаливания в калиеносных породах), приводящей к образованию апокарналли-

Таблица 2

Мощности слоя 1, 2 и 3, выделенных в калиеносном интервале Перелюбского участка

Номер слоя	Номер скважины									
	101	103	107	108	109	207	204	203	208	211
	Мощность, м									
1	4,00	2,30	3,00	0,60	0,00	2,40	1,50	0,00	1,80	2,80
2	2,50	0,25	1,00	0,50	2,80	0,50	2,60	2,50	1,00	0,15
3	0,20	3,25	—	2,50	0,20–0,50		1,30	1,50		

тового сильвина, или замещению карналлита сильвином на стадии диагенеза [1, 8].

Речь идёт в таком случае о двух основных моделях образования сильвина:

- а) термофильной модели с наличием галоклина и, возможно, термоклина [1, 7, 8];
- б) модели образования сильвина как продукта разложения карналлита.

В случае реализации первой модели сильвинит кристаллизуется из порового раствора в галитовой матрице. При этом образуется наиболее чистые разновидности сильвинитов, содержащие минимальное количество примесей (в виде пелитового материала и продуктов вторичного минералообразования). Такие сильвиниты установлены в кровельной части калиеносного интервала погожской ритмопачки (например, в скв. 211 Восточно-Перелюбского участка).

Сильвиниты, образовавшиеся по второй модели, связаны преимущественно с интервалами переотложения галогенного осадка за счёт внутренней гидродинамики солеродного бассейна и при поступлении существенного количества пелитового материала. В этом случае концентрация порового раствора понижалась за счёт воды, отжимаемой из пелита и, соответственно, шло выщелачивание ранее образовавшегося карналлита и формирование продукта выщелачивания — сильвина. Сильвин, в свою очередь, отличается повышенными значениями бром-хлорного коэффициента 5,9–6,2, что соответствует стадии кристаллизации карналлита, согласно результатам М.Г. Валяшко [2]. Однако за счёт пелитового материала и поступающей менее сгущенной рапы в системе росло количество не только калия, но и сульфата, а соответственно кристаллизовались существенные количества кизерита и каинита.

Литологические исследования кернового материала на Западно- и Восточно-Перелюбском участках позволили условно выделить три слоя (сверху вниз) в продуктивном пласте.

Первый слой представлен сильвинитами и сильвин-галитовыми породами с прослоями, сложенными галитом.

Второй — сильвинитами с существенным содержанием пелит-ангидритового материала, представляющих горизонты переотложения калийных и калиеносных пород в относительно малоглубинных участках солеродного бассейна [9].

Третий — сильвинитами, залегающими ниже горизонта переотложения с постепенно падающим содержанием примеси пелитового материала, существенным ростом вторичных наложенных процессов, отражающих высокую концентрацию рапы и заметный рост её сульфатности.

Полученные результаты приведены в табл. 2.

Анализ данных в табл. 2, позволяет отметить следующее.

А. Максимальные толщины наиболее чистых от нерастворимых остатков сильвинитов, где можно предполагать непосредственную кристаллизацию сильвина из рапы, а не формирование сильвина как продукта разложения карналлита, следует ожидать в участках снижения роли пелитового материала (больших глубин слоя рапы и при двухслойном её характере). Типичным примером является разрез скв. 211.

Б. Значительные толщины сильвинитов, имеющих преимущественно вторичный характер по карналлитам, обязаны содержанию пелитового материала в перекрывающих их горизонтах (скв. 103, 108, 203).

В. Для первого и второго типа сильвинитов существенным является присутствие галита высаливания, осаждение которого обеспечивает рост содержания ионов калия в рапе [7].

Общая картина изменения мощности слоя 1 сильвинитового пласта, мало затронутого процессами внутрибассейнового перемещения и заноса терригенного материала приведена на рис. 5, А, В. Суммарные мощности калиеносного горизонта приведены на рис. 5, Б, Г.

Таким образом, на Западно-Перелюбском участке намечается тенденция роста суммарной мощности калиеносного горизонта погожской ритмопачки в северо-западном направлении, но в этом же направлении растёт содержания пелит-ангидритовой примеси, что связано, по нашему мнению, с приближением границы солеродного бассейна (рис. 5, Б). В южном направлении при сокращении мощности сильвинитового горизонта, роль чистых сильвинитов существенно возрастает (рис. 5, А). На Восточно-Перелюбском участке незначительное увеличение мощности слоя 1 чистых сильвинитов наблюдается в северном направлении (рис. 5, В). При этом суммарная мощность калиеносного горизонта увеличивается в юго-восточном направлении (рис. 5, Г).

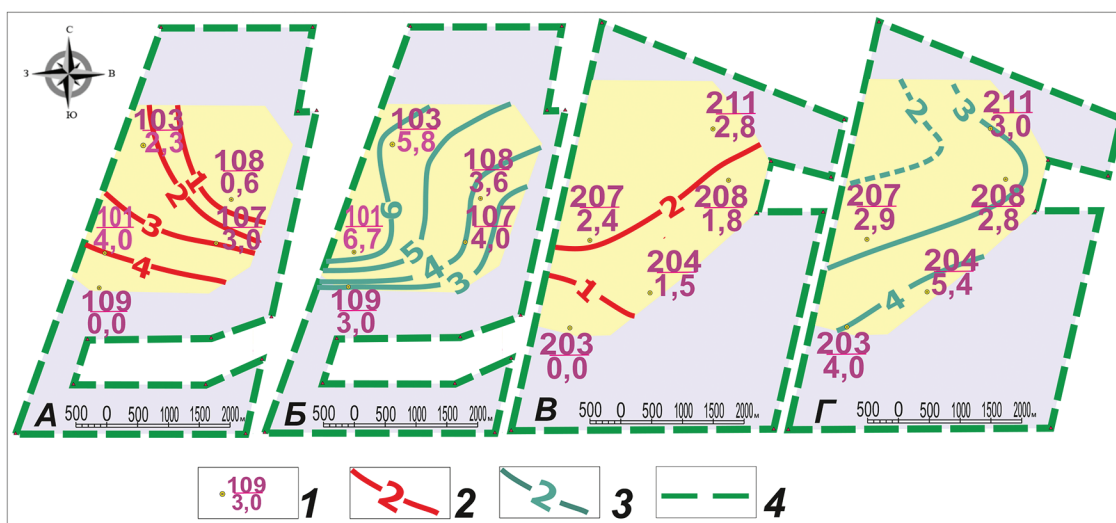


Рис. 5. Карты мощностей сильвинитового пласта погожской ритмопачки Западно-Перелюбского (А, Б) и Восточно-Перелюбского (В, Г) участков: А, В — мощности слоя 1; Б, Г — суммарные мощности; 1 — положение скважины, её номер (над чертой), мощность (под чертой); 2 — изопахиты слоя 1; 3 — суммарные изопахиты слоя 1, 2 и 3; 4 — контуры границ Перелюбских участков

Заключение

В результате проведённых исследований необходимо отметить следующее.

Теоретическими положениями для выявления условий формирования сильвинитов, залегающих выше бишофит-карналлитовых пород погожской ритмопачки послужили представления И.К. Жеребцовой и С.А. Свидзинского [3, 11] для разреза в скв. Краснокутской 1-К: сильвинитовый пласт сформировался в результате поступления в акваторию бассейна с рапой карналлит-бишофитовой стадии растворов меньшей концентрации (на уровне галитовой стадии), что приводило к разложе-

нию карналлита и формированию апокарналлитового сильвина. При этом степень сгущения растворов не снижалась ниже стадии кристаллизации сильвина, что приводило к высаливанию сильвина [7]. Значения бром-хлорного коэффициента (5,9—6,2), доказывают, что сильвиниты являются продуктом вторичной переработки карналлитовых пород.

Наличие парагенезисов с каинитом и кизеритом в северо-восточной части внешней бортовой зоны впадины указывает на повышенное содержание сульфатной составляющей в рапе по сравнению с северо-западной частью, где наличие данных парагенезисов в разрезе не установлено.

ЛИТЕРАТУРА

1. В а л я ш к о М.Г. Геохимические закономерности формирования месторождений калийных солей. М.: Изд-во МГУ, 1962. 72 с.
2. В а л я ш к о М.Г. Бром в соляных отложениях и рассолах как геохимический индикатор при исследовании соляных месторождений // Бром в соляных отложениях и рассолах. М.: Изд-во МГУ, 1976. С 5—9.
3. Жеребцова И.К., Золотарева В.А., Пантелеева О.Д. Геохимические особенности формирования соленосных отложений в северной части Приволжской моноклинали // Физико-химические закономерности осадконакопления в солеродных бассейнах. М.: Наука, 1986. С. 21—34.
4. К о п н и н В.И., М о л о ш т а н о в Н.Е. К вопросу о минеральном составе сильвинитовых руд Верхнекамского месторождения // Тр. ИГиГ СО АН СССР. 1980. Вып. 439. С. 45—47.
5. К о п н и н В.И. Строение и генезис галитовых аномалий в калиеносных пластах южной части Верхнекамского месторождения калийных солей // Литология и полезные ископаемые. 1995. № 5. С. 500—512.
6. К у д р я ш о в А.И. Верхнекамское месторождение солей. Пермь, 2001. 430 с.
7. М о с к о в с к и й Г.А., Г о н ч а р е н к о О.П., И л ь и н К.К. Высаливание хлоридов натрия и калия на заключительных стадиях галогенеза (на примере Гремячинского месторождения калийных солей в Прикаспийской впадине) // Литология и полезные ископаемые. 2016. № 1. С. 95—107.
8. М о с к о в с к и й Г.А., Г о н ч а р е н к о О.П., Б а й г у з и н а А.З. Особенности состава и условий формирования калийных и калийно-магниевого пород погожской ритмопачки в северо-западной и северо-восточной частях бортовой зоны Прикаспия // Известия Саратовского университета. Новая серия. Науки о Земле. 2016. № 3. С. 188—192.
9. П и с а р е н к о Ю.А., Г о н ч а р е н к о О.П., П и с а р е н к о В.Ю., К и р е е н к о О.С., К а р п о в а Т.Г. Палеогеографические и тектонические условия формирования нижнепермской галогенной формации юго-восточной окраины Русской плиты // Известия Саратовского университета. Новая серия. Науки о Земле. 2010. № 2. С. 49—58.
10. Р а з у м о в с к а я Е.Э. Причины и характер красной окраски калиевых соединений Соликамского месторождения // Мат. по общей и прикладной геологии. 1927. Вып. 105. С. 61—74.
11. С в и д з и н с к и й С.А., С е д л е ц к а я Н.М., Д е р е в я г и н В.С. Литологический разрез скважины Краснокутской // Проблемы морского и континентального галогенеза. Новосибирск, 1988. С. 120—127.

REFERENCES

1. Valyashko M.G. *Geokhimicheskiye zakonomernosti formirovaniya mestorozhdeniy kaliynykh soley* [Geochemical regularities of formation of deposits of potassium salts]. Moscow, Moscow state University Publ., 1962, 72 p. (In Russian).
2. Valyashko M.G. Brom v solyanykh otlozheniyakh i rassolakh kak geokhimicheskiy indikator pri issledovanii solyanykh mestorozhdeniy [Bromine in salt deposits and brines as a geochemical indicator in the study of salt deposits]. *Brom v solyanykh otlozheniyakh i rassolakh* — [Bromine in salt deposits and brines], Moscow, 1976, pp. 5–9. (In Russian).
3. Zhrebtsova I.K., Zolotareva V.A., Panteleyeva O.D. Geokhimicheskiye osobennosti formirovaniya solenosnykh otlozheniy v severnoy chasti Privolzhskoy monoklinali. [Geochemical features of the formation of saline deposits in the Northern part of the Volga monoclinial]. *Fiziko-khimicheskiye zakonomernosti osadkonakopleniya v solerodnykh basseynakh* — [Geochemical features of the formation of saline deposits in the Northern part of the Volga monoclinial], Moscow, 1986, pp. 21–34. (In Russian).
4. Kopnin V.I., Moloshtanova N.E. K voprosu o mineralnom sostave silvinitovykh rud Verkhnekamskogo mestorozhdeniya. [The question of the mineral composition of the sylvinite ores of the Verkhnekamskoye Deposit]. *Trudy IGI SO AN SSSR* — [Proceedings of the Sobolev Institute of Geology and Mineralogy of the Academy of Sciences], 1980, no 439, pp. 45–47. (In Russian).
5. Kopnin V.I. Stroyeniye i genezis galitovykh anomalii v kaliyenosnykh plastakh yuzhnoy chasti Verkhnekamskogo mestorozhdeniya kaliynykh soley. [Structure and Genesis of halite anomalies in the potassium layers of the southern part of the Verkhnekamskoye potash Deposit]. *Litologiya i poleznyye iskopayemye* — [Lithology and Mineral Resources], 1995, no 5, pp. 500–512. (In Russian).
6. Kudryashov A.I. *Verkhnekamskoye mestorozhdeniye soley* [Verkhnekamskoye Deposit of salts], Perm, 2001, 430 p.
7. Moskovskiy G.A., Goncharenko O.P., Ilin K.K. Vysalivaniye khloridov natriya i kaliya na zaklyuchitelnykh stadiyakh galogeneza (na primere Gremyachinskogo mestorozhdeniya kaliynykh soley v Prikaspiyskoy vpadine). [Desalting of sodium and potassium chlorides at the final stages of halogenesis: evidence from the Gremyachinsk potash deposit in the Caspian basin]. *Litologiya i poleznyye iskopayemye* — [Lithology and Mineral Resources], 2016, no 1, pp. 95–107. (In Russian).
8. Moskovskiy G.A., Goncharenko O.P., Bayguzina A.Z. Osobennosti sostava i usloviy formirovaniya kaliynykh i kaliynomagniyevykh porod pogozhskoy ritmopachki v severo-zapadnoy i severo-vostochnoy chastyakh bortovoy zony Prikaspiya. [Peculiarities of Compositions and Formation Environments of Potassium and Potassium-Magnesium rocks from the Pogozhskaya rhythmic Member in the northwestern and the northeastern Parts of the Caspian slope Zone]. *Izvestiya Saratovskogo universiteta* — [News of Saratov University. New series. Earth science], 2016, no 3, pp. 188–192. (In Russian).
9. Pisarenko Yu.A., Goncharenko O.P., Pisarenko V.Yu., Kireyenko O.S., Karpova T.G. Paleogeograficheskiye i tektonicheskiye usloviya formirovaniya nizhnepermiskoy galogennoy formatsii yugo-vostochnoy okrainy Russkoy plity. [Paleogeographic and tectonic Environment in the Lower Permian Halogen Formation from the southeastern Margin of the Russian Plate]. *Izvestiya Saratovskogo universiteta* — [News of Saratov University. New series. Earth science], 2010, no 2, pp. 49–58. (In Russian).
10. Razumovskaya E.E. Prichiny i harakter krasnoj okraski kalievykh soedineniy Solikamskogo mestorozhdeniya. [Reasons and character of red colouring of potassium compounds of Solikamsk Deposit]. *Materialy po obshchej i prikladnoj geologii* — [Materials on General and applied Geology], 1927, pp. 61–74. (In Russian).
11. Svidzinskiy S.A., Sedletskaya N.M., Derevyagin V.S. Litologicheskii razrez skvazhiny Krasnokutskoy. [Lithological section of Krasnokutskaya well]. *Problemy morskogo i kontinentalnogo galogeneza* — [Problems of marine and continental halogenesis], 1988, pp. 120–127. (In Russian).

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОИСКОВ И РАЗВЕДКИ

УДК 550.831 + 550.348

СЕЙСМОГРАВИТАЦИОННЫЕ ПУЛЬСАЦИИ НА ЕВРАЗИЙСКОМ КОНТИНЕНТЕ

Ю.В. АНТОНОВ, И.Ю. АНТОНОВА

*Воронежский государственный университет
1, Университетская пл., г. Воронеж 394006, Россия
e-mail: yuriyantонов@yandex.ru*

Впервые пульсации силы тяжести были обнаружены при обработке стационарных наблюдений на Геодинамическом полигоне РАН в г. Бишкеке (2014 г.). Затем аналогичные пульсации были выявлены в сейсмических стационарных наблюдениях в г. Воронеже, которые синхронно совпадали с гравиметрическими пульсациями в г. Бишкеке. Позже обнаружены пульсации силы тяжести на станциях Арти, в Перми и во Владивостоке. Сейсмические пульсации также установлены в Юго-Восточной Азии. В прибрежных зонах и в океане дополнительно возникают пульсации за счёт атмосферных процессов (тайфуны, циклоны и т. д.). Пульсации неприливных вариаций силы тяжести и сейсмического поля носят глобальный характер.

Ключевые слова: лунно-солнечные вариации силы тяжести; неприливные вариации силы тяжести; корональные выбросы масс; метеорные потоки; пульсации; сейсмический шум.

DOI:10.32454/0016-7762-2019-1-60-66

SEISMIC-INDUCED GRAVITATIONAL PULSATIONS ON THE EURASIAN CONTINENT

YU.V. ANTONOV, I.YU. ANTONOVA

*Voronezh state University
University square, 1, Voronezh 394006, Russia
e-mail: yuriyantонов@yandex.ru*

For the first time, gravity pulsations were detected during the processing of stationary observations at the Geodynamic range of RAS in Bishkek (2014). Then, similar surges were detected in stationary seismic observations in the city of Voronezh, which simultaneously coincided with the gravimetric fluctuations in Bishkek. Later, gravity pulsations were detected at Artie, Perm and Vladivostok stations. Seismic ripples are also found in Southeast Asia. In coastal zones and in the ocean, additional pulsations occur due to atmospheric processes (typhoons, cyclones, etc.). Pulsations of non-tidal variations of gravity and seismic fields are global.

Keywords: lunar-solar variations of gravity; non-tidal variations of gravity; coronal mass ejections; meteor showers; pulsations; seismic noise.

Впервые неприливные пульсации силы тяжести были обнаружены при обработке стационарных гравиметрических наблюдений на Геодинамическом полигоне РАН в г. Бишкеке (2014 г.). Получены пульсации были путём исключения из гравиметрических наблюдений лунно-солнечных вариаций силы тяжести и смещения нуля-пункта [2, 3]. Проявляются пульсации в виде увеличения амплитуды

колебаний гравитационного поля продолжительностью от нескольких часов до нескольких суток.

Позже аналогичные пульсации были выявлены в сейсмических стационарных наблюдениях в Воронеже (Геофизическая служба РФ, 2015 г.) [6], которые синхронны гравиметрическими пульсациям в г. Бишкеке. Это совпадение не случайное. Дело в том, что для измерений гравитационного и сей-

смического полей служит один и тот же датчик — вертикальный сейсмограф Голицына.

При исследовании переменного гравитационного поля прежде всего обращают внимание на лунно-солнечные вариации силы тяжести, которые образуют волнообразный пакет колебаний. Кроме лунно-солнечных вариаций силы тяжести существуют другие гравитационные колебания различных амплитуд и периодов, которые образуются в недрах Земли, ближнем и дальнем космосе. Одним из таких проявлений могут служить пульсации гравитационного поля, выявленные автором [2, 6] при анализе неприливных аномалий силы тяжести. Попытаемся объяснить природу выявленных пульсаций силы тяжести.

Исходным материалом для данной статьи послужили мониторинговые наблюдения силы тяжести на Геодинамическом полигоне РАН в г. Бишкек (Киргизстан) с помощью гравиметра SG—5 Autograv. Прибор установлен в штольне с постоянной температурой около 8°C примерно в 30 км от города, так что помехи техногенного характера практически отсутствуют. Привлечены мониторинговые измерения силы тяжести во Владивостоке (мыс Шульца) и станции Арти (г. Екатеринбург), где используются приливные гравиметры gPhone (Micro — g — LaCoste). Гравиметрический пункт, мыс Шульца расположен в зоне перехода от азиатского континента к Тихому океану, на территории Морской экспериментальной станции Тихоокеанского океанологического института ДВО РАН (мыс Шульца, залив Петра Великого, Японское море). Пункт Арти

расположен в центре Евразийского континента (Урал, г. Екатеринбург). Использованы также сейсмические наблюдения в Воронеже (пункты Сторожевое и Галичья Гора ГС РАН в Центрально-Черноземном районе). Указанные пункты находятся в центре Русской платформы, где практически отсутствуют помехи, присущие тектонически активным регионам (города Бишкек и Владивосток). Для сравнения — в Воронеже выбраны только сейсмические данные из-за того, что мониторинговых гравиметрических данных в Воронеже нет [3]. Кроме того, привлечены сейсмические данные по Юго-Восточной Азии^{1,2,3}.

Наблюдённые значения силы тяжести представляют собой лунно-солнечные вариации, осложнённые региональным фоном (чаще линейным). Последний обусловлен смещением нуль-пункта прибора, а также влиянием внешних факторов [2]. Чтобы получить неприливную вариацию силы тяжести необходимо удалить лунно-солнечные вариации и фон. После соответствующей обработки [2—5] наблюдённых вариаций силы тяжести получены так называемые неприливная вариация силы тяжести. Неприливные вариации (рис. 1) представляют собой кривую высокочастотных колебаний, которые в свою очередь модулируются более длинно-периодными колебаниями.

Для вычисления пульсаций в данном конкретном случае использовалось осреднение. Отметим также, что при применении метода осреднения появляется возможность вычисления пульсаций без промежуточных операций по учёту лунно-солнеч-

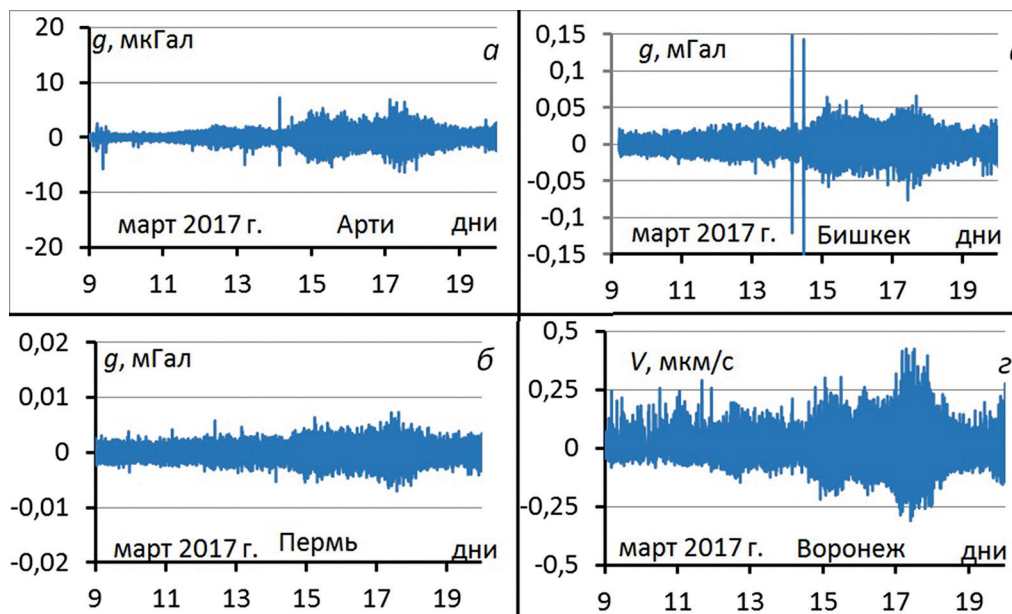


Рис. 1. Пульсации гравитационного и сейсмического полей в Арти (а), Перми (б), Бишкеке (в) и Воронеже (з) в марте 2017 г.

¹ <http://earth-chronicles.ru/news/2016-01-20-88205>, дата обращения — 28.10.2018.

² <https://maglipogoda.ru/v-noch-s-26-na-27-yanvarya-v-primore-ozhidaets/>, дата обращения — 28.10.2018.

³ <https://sur.ly/i/ida.ucsd.edu/>, дата обращения — 28.10.2018.

ных вариаций и нуль-пункта. Поскольку пульсации силы тяжести имеют такие же периоды, что и остаточные неприливные вариации [1, 3], то для осреднения можем использовать метод скользящего окна в 10 мин. Наиболее оптимальный вариант осреднения с интервалом 5–10 мин., что легко выявить на расчётных лунно-солнечных вариациях. Добавим, что вычисление остаточных неприливных вариаций можно сделать с помощью сплайн-сглаживания, на что указывалось в [2–6].

Методика выделения пульсаций важна ещё тем, что она может быть использована при выделении «сейсмических бурь» [3]. Земля создает постоянные сейсмические колебания, которые регистрируются непрерывно сейсмографом и называются сейсмическим шумом. Амплитуда этих колебаний очень мала, но в отдельные моменты амплитуда их вдруг увеличивается на несколько порядков. Такие увеличения амплитуд шумов называют «сейсмическими бурями». Сейсмические бури также как и гравиметрические пульсации, длятся несколько дней, хорошо идентифицируются и по времени совпадают [1, 2]. Далее по тексту «сейсмические бури» по аналогии с пульсациями силы тяжести будем называть сейсмическими пульсациями.

Начнём рассмотрение пульсаций силы тяжести и сейсмического поля в четырёх пунктах (Арти, Бишкек, Воронеж и Пермь), охватывающих значительную часть Евразийского континента (рис. 1). Приведённые пульсации наблюдались в марте 2017 г. По времени пульсации совпадают между собой. Данные пульсации повторяются регулярно в марте и в другие годы и вызваны метеорным потоком Леониды. Если учесть [1], что погрешности гравиметрических наблюдений в Перми сравнивались с аналогичными погрешностями в г. Обнинске (Калужская область), то в список пунктов можно добавить ещё один пункт. Среднеквадратические погрешности измерений, которые предусмотрены программным обеспечением приборов, полностью повторяют пульсации [2]. Поэтому сравнение погрешностей измерений идентично сравнению пульсаций. В некоторых случаях, когда трудно сохранить линейность нуль-пункта гравиметра, сравнение погрешностей имеет даже некоторое преимущество.

На рис. 2 представлены пульсации силы тяжести за февраль 2015 г. в Бишкеке, Владивостоке и Арти. География сопоставления пульсаций резко расширилась. Пульсации четко совпадают между собой во всех трёх пунктах. Для февраля месяца характерны не только резкие изменения погоды, но и пульсаций. В середине февраля пульсации совпадают с метеорными потоками Центавриды: 8 февраля — Альфа, 12 февраля — Омикрон и 16 февраля — Тета-Центавриды. Обратим внимание на некоторые особенности пульсаций во Владивостоке. Кривая пульсаций сильно изрезана, что

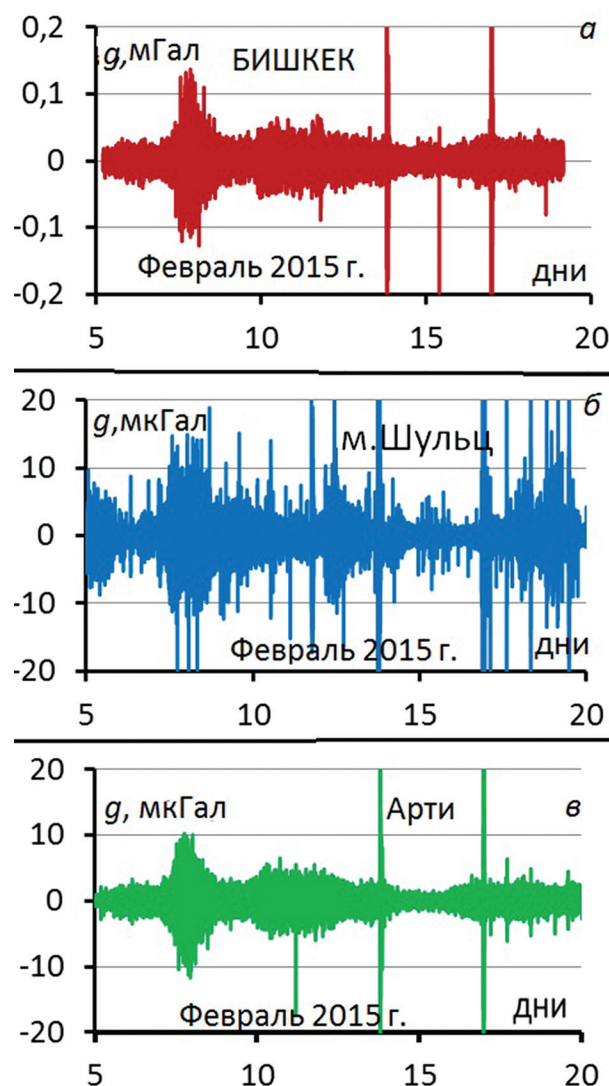


Рис. 2. Сравнение пульсаций силы тяжести в Бишкеке (а), Владивостоке (б) и Арти (в) в феврале 2015 г.

обусловлено расположением станции наблюдений на берегу моря, а в этом случае пульсации могут возникать из-за прибойных сил и прохождения атмосферного фронта². Примерно также ведут себя сейсмические пульсации по измерениям акселерометра во Владивостоке и сейсмографа в Воронеже (рис. 3).

Несколько иначе выглядят пульсации силы тяжести во Владивостоке в конце января 2015 г. Как правило, к отрезку времени 27–31 января приурочен метеорный поток Альфа Кариниды. В Бишкеке и Арти пульсации совпадают между собой (рис. 4, а, б), а вот на мысе Шульца (рис. 4, а) видим существенное отличие. Аналогичная картина наблюдается в сейсмических пульсациях в Воронеже и на мысе Шульца (рис. 5). Причиной отличия пульсации являются атмосферные процессы, происходящие на берегу океана. В ночь с 26 на 27 января на Приморье пришёл циклон, являющийся отголоском тихоокеанского тайфуна². Гравиметрические пульсации в Арти и Бишкеке начались на

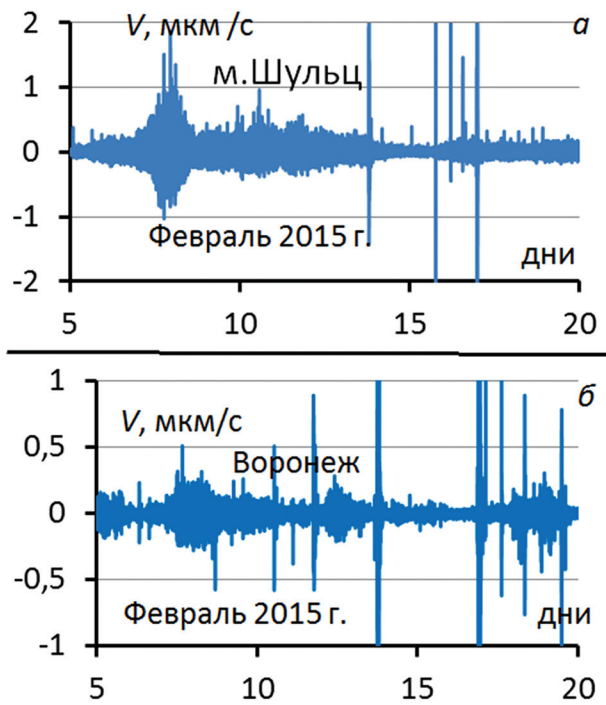


Рис. 3. Сравнение пульсаций сейсмического поля во Владивостоке (а) и Воронеже (б) в феврале 2015 г.

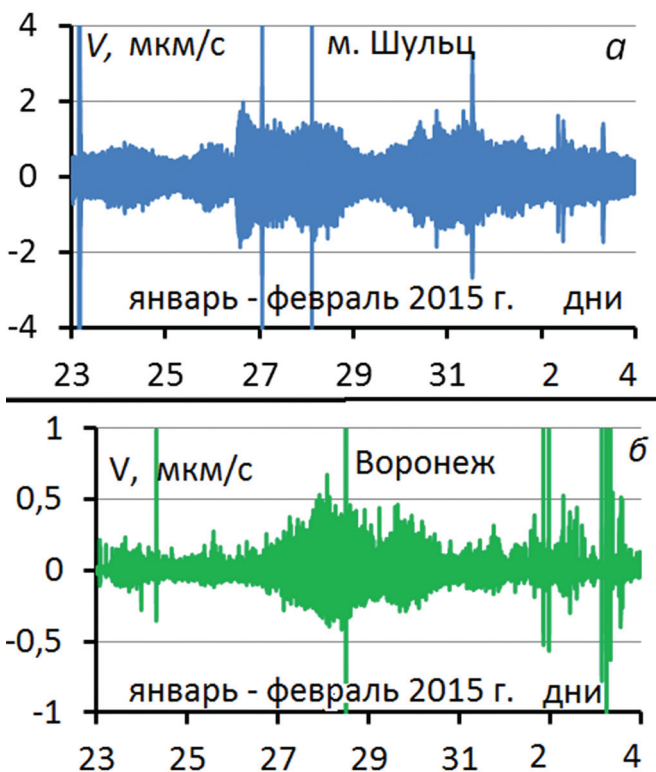


Рис. 5. Сравнение пульсаций сейсмического поля во Владивостоке (а) и Воронеже (б) в январе—феврале 2015 г.

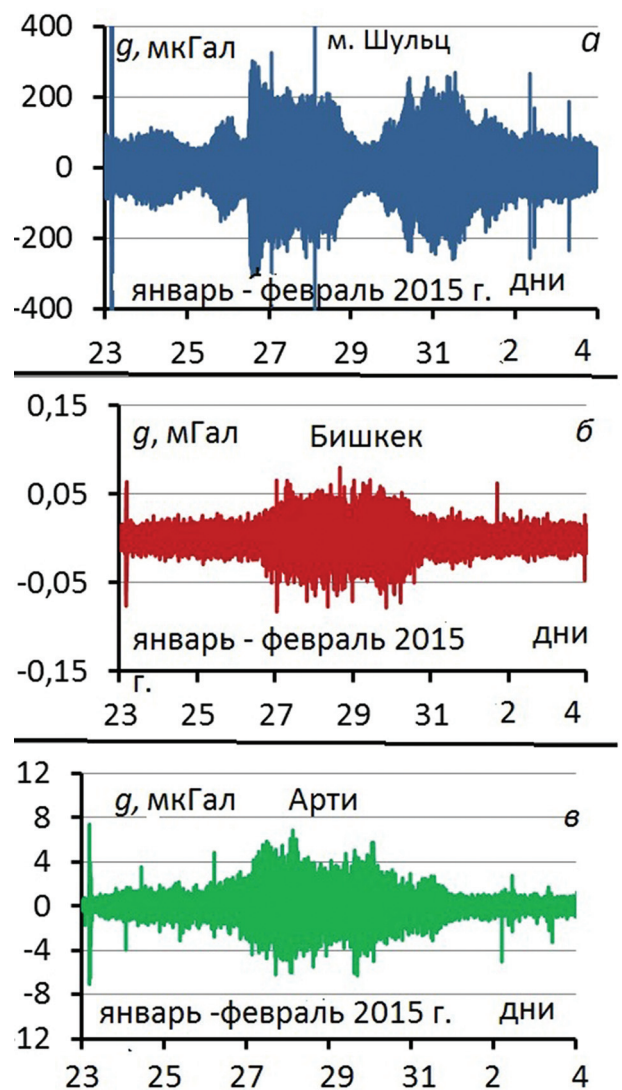


Рис. 4. Сравнение пульсаций силы тяжести в Бишкеке (а), Владивостоке (б), и Арти (в) в январе—феврале 2015 г.

сутки позже, чем во Владивостоке. В Приморье они начались уже 26 января с амплитудой большей в два—три раза, чем на континенте.

Отметим любопытную деталь в сейсмической и гравиметрической пульсациях на рис. 4, 5. В течение недели (26 января — 1 февраля) на мысе Шульца стояла пасмурная погода с северным ветром при скорости более 10—13 м/с. 29 января всего на одни сутки установилась штилевая погода (2 м/с) с переходом ветра с северного направления на восточное. Обычно штиль приурочен к центру циклона. К этому времени приурочена нулевая пульсация, что собственно лишний раз подтверждает влияние атмосферных процессов на показания гравиметров и сейсмографов [5]. Таким образом, пульсации внутри континента и в прибрежной зоне имеют разную природу возникновения.

Влияние атмосферных фронтов хорошо подтверждается сейсмическими пульсациями, пред-

ставленными на рис. 6. Данные о сейсмическом поле получены по записям со стационарных пунктов, взятых из мирового банка данных³. К сожалению, материал неоднородный по качеству, но тем не менее позволяет судить о поведении морских и континентальных пульсаций. На рис. 6 в течение декабря 2015 г. и января 2016 г. чётко прояв-

ляются пульсации (помечены овалами на рис. 6), связанные с метеорными потоками Гемениды (16 декабря) и Квадрантиды (5 января). Пульсации имеют исключительно большую амплитуду. Между пульсациями большой амплитуды имеются многочисленные пульсации, отражённые в верхней части рис. 6 и особенно в самой верхней строке. В вер-

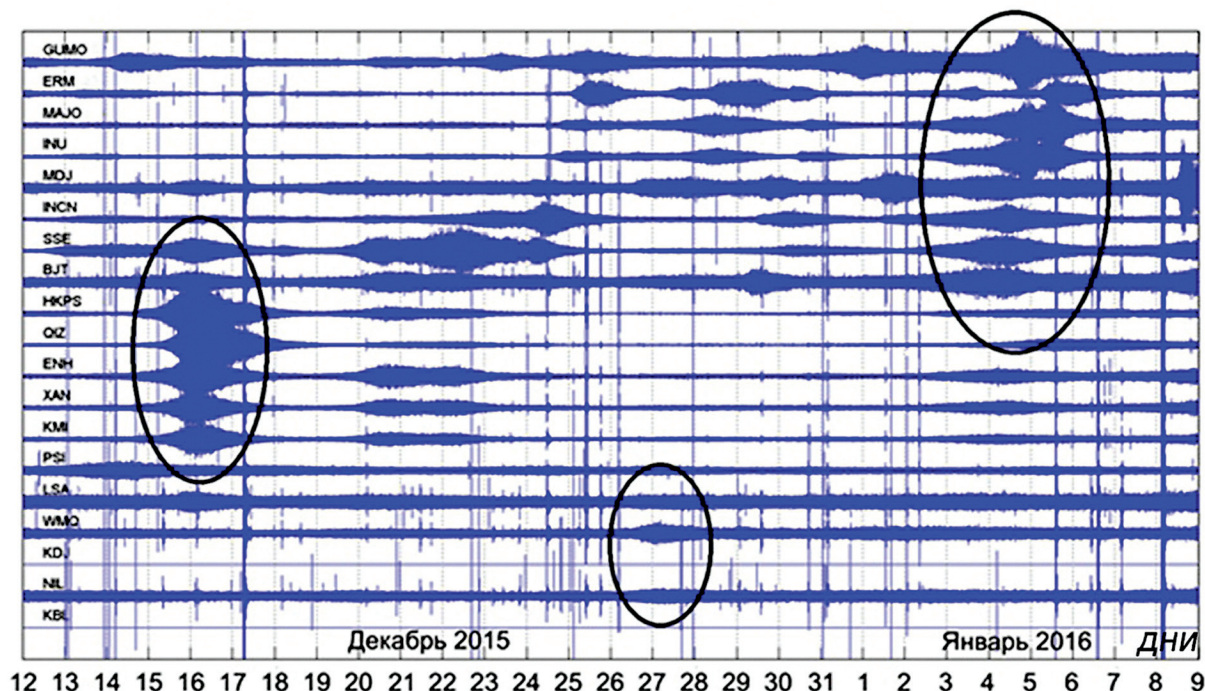


Рис. 6. Пульсации сейсмического поля в Юго-Восточной Азии в декабре 2015 — январе 2016 гг.

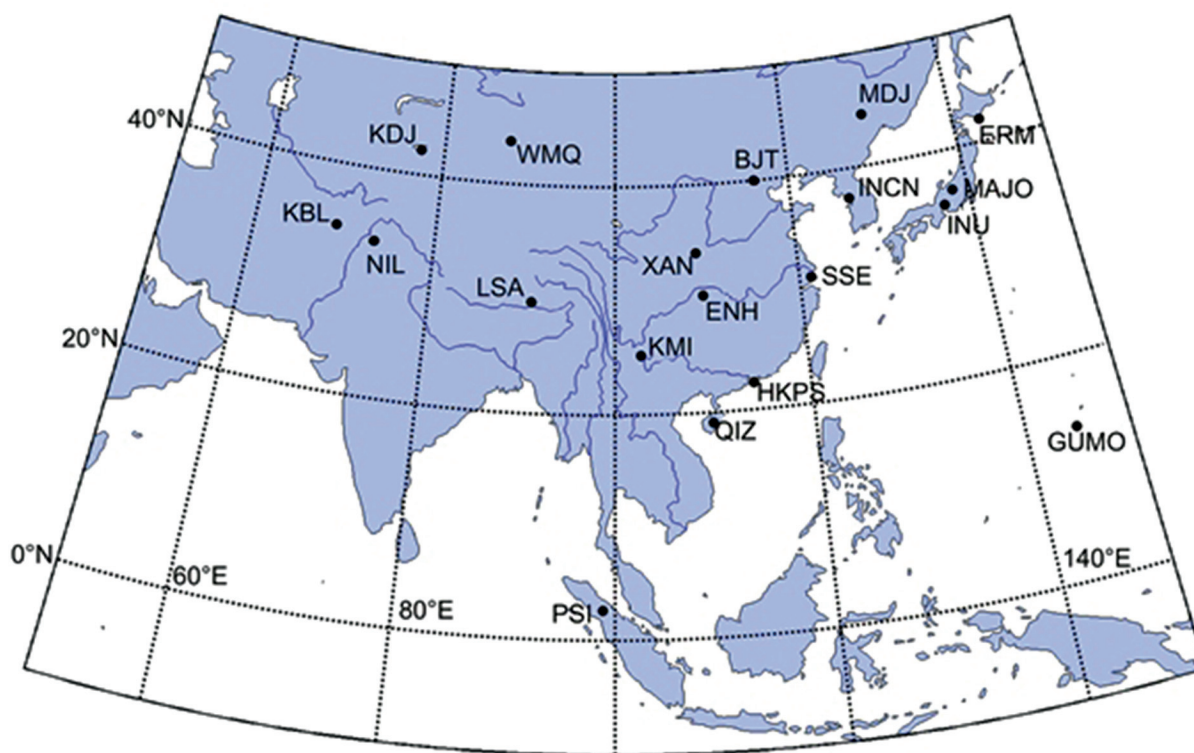


Рис. 7. Расположение сейсмических станций в Юго-Восточной Азии

хней строке рисунка приводятся результаты обработки сейсмического поля со станции о. Гуам (GUMO, 13° сш, 145° вд). Расположение стационарных пунктов для Юго-Восточной Азии дано на рис. 7. О. Гуам расположен в западной части Тихого океана и лежит на пути тайфунов, которые вызывают пульсации сейсмического поля. На рис. 8

приведена схема прохождения тайфунов за 2015 г.¹. Тайфуны зарождаются в океане, и большая часть их выходит на континент, где они постепенно ослабевают, превращаясь в штормы и циклоны, а меньшая часть возвращается обратно в океан. Поэтому верхняя часть рис. 6 отражает состояние сейсмического поля прибрежных станций. Это объяс-

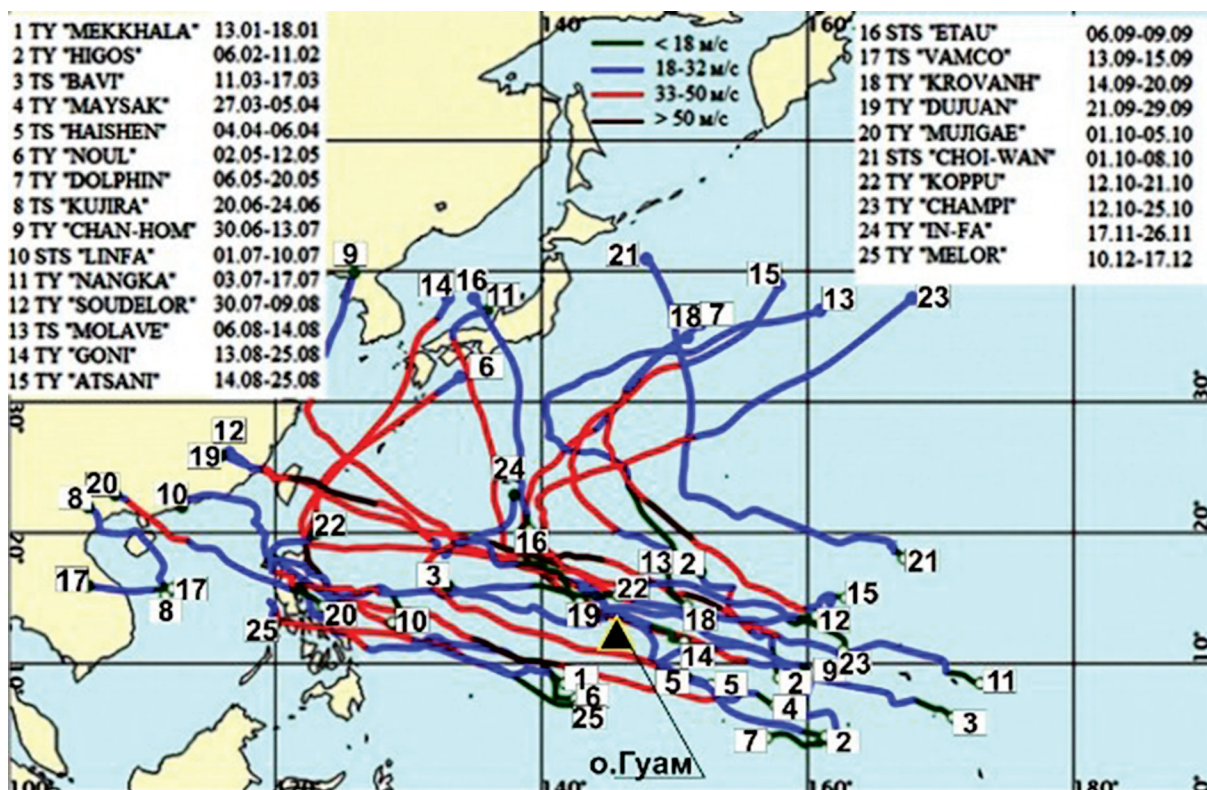


Рис. 8. Траектории прохождения тайфунов в 2015 г. в Юго-Восточной Азии

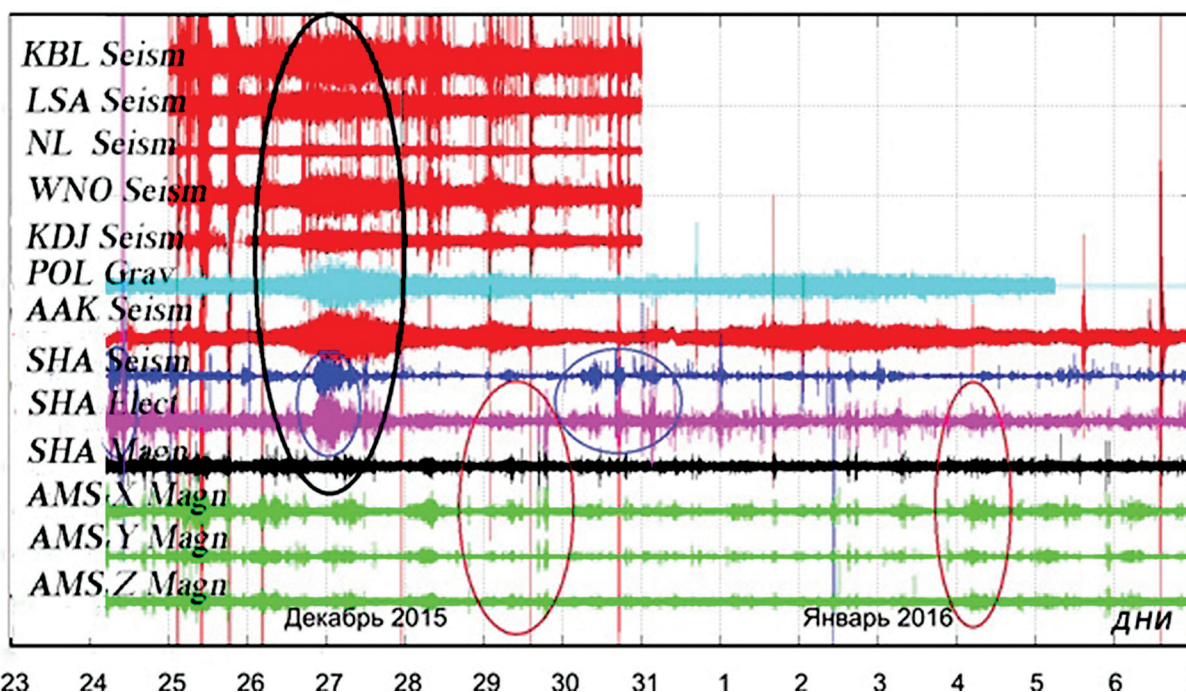


Рис. 9. Сравнение пульсаций гравитационного, сейсмического, электромагнитного и магнитного полей в Бишкеке с пульсациями сейсмического поля в континентальной части Юго-Восточной Азии

няется тем, что пульсации связаны с атмосферными фронтами [4], которые часто протягиваются на тысячи километров. А вот на станциях в глубине континента (KBL, KDJ, NIL, WMO) пульсации имеют значительно меньшую амплитуду, хотя связаны тоже с мощным метеорным потоком Урсида (27 декабря 2015 г.).

Рассмотрим еще один пример (рис. 9) распределения сейсмо-гравитационных пульсаций на базе Бишкекского полигона (станция POL) и их взаимодействие с другими геофизическими полями в декабре — январе 2015 г. Сейсмические пульсации внутри Азиатского континента (станции KBL, LSA, NIL, WNQ) совпадают с гравиметрической пульсацией в Бишкеке (станция POL). К концу декабря почти всегда приурочен метеорный поток. (Квадрантиды). Сейсмические пульсации на станциях возле Бишкека (AAA, SHA) четко фиксируются и совпадают с гравитационными. Электромагнитное поле также является возмущенным. В магнитном поле возмущены в основном горизонтальные составляющие. Видимо, метеорные потоки воздействуют на все геофизические поля, но это объект отдельного исследования.

Таким образом, в большинстве случаев пульсации сейсмического и гравитационного полей на континенте сопровождаются метеорными потоками. Пульсации по времени синхронно регистрируются во всех пунктах от Воронежа до Владивостока, что свидетельствует о тесной связи пульсаций. Кроме того, в пульсациях проявляется четкая сезонность [1—6]. Пульсации проявляются преимущественно в осенне-зимний период, но Земля пересекает метеорные потоки в течение всего года и наиболее яркие метеорные дожди наблюдаются в весенне-летний период. Например, наиболее зрелищный метеорный поток Персеиды (середина ав-

густа) практически не вызывает пульсаций (их может заметить очень опытный наблюдатель), а вот потоку Центаврид (февраль), у которого зенитное число на два порядка меньше, чем у Персеид в августе, соответствуют интенсивные и длительные пульсации. Это объясняется следующими факторами. Мощность (плотность) метеорного потока в астрономии, так сложилось исторически, оценивается зенитным часовым числом — числом наблюдаемых метеоров за 1 ч. Наблюдаемые метеоры создаются наиболее крупными частицами, а плотность метеорного потока чаще определяется мелкими частицами. Кроме того, метеорные потоки делятся по ориентации к движению Земли на догоняющие и встречные, так что момент силы удара зависит от скорости потока и угла его встречи с Землей. Таким образом, можем использовать стационарные сейсмические и гравиметрические измерения для оценки плотности метеорных потоков.

Выводы

Связь между пульсациями гравитационного и сейсмического полей однозначна и носит глобальный характер на земном шаре. Дальнейшее изучение пульсаций позволит установить более четко их физическую природу, чтобы использовать их для глубинного изучения Земли, а также метеорных потоков. В прикладном плане изучение пульсаций внесет определенные коррективы в методику высокоточных измерений силы тяжести.

Автор благодарит за предоставленные сейсмические и гравиметрические материалы Л.И. Надежку (ВГУ), М.Г. Валитова (ТИО ДВО РАН), А.К. Рыбина (ГП РАН), С.Г. Бычкова (Пермь, ПГНИУ) и А.С. Бебнева (ИГ УрО РАН).

ЛИТЕРАТУРА

1. Абрамов Д.В., Бычков С.Г. Возможная природа пульсаций гравитационного поля // Вопросы теории и практики геологической интерпретации геофизических полей. Казань: Казанский университет, 2018. С. 16—18.
2. Антонов Ю.В. Пульсации приливных вариаций силы тяжести // Изв. вузов. Геология и разведка. 2014. № 5. С. 54—57.
3. Антонов Ю.В. Разделение приливных вариаций силы тяжести на основе спектрального анализа и метода осреднения // Вестн. Воронеж. гос. ун-та. Сер. Геология. 2016. Вып. 2. С. 100—106.
4. Антонов Ю.В. Влияние атмосферного фронта на показания гравиметров и сейсмометров // Изв. вузов. Геология и разведка. 2017. № 4. С. 66—71.
5. Антонов Ю.В., Антонова И.Ю. Сравнение приливных вариаций силы тяжести и вертикальной составляющей сейсмографа // Геофизика. 2013. № 2. С. 27 — 31.
6. Антонов Ю.В., Сизаск И.А. Синхронные пульсации в приливных вариациях гравитационного и сейсмического полей // Изв. вузов. Геология и разведка. 2015. № 5. С. 46—52.

REFERENCES

1. Abramov D.V., Bychkov S.G. Possible nature of gravitational field pulsations. *Problems of theory and practice of geological interpretation of geophysical fields*. Kazan, Kazanskiy university Publ., 2018, pp. 16—18. (In Russian).
2. Antonov Y.V. Pulsations of non-tidal variations of gravity. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Geologiya i razvedka* — [Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration], 2014, no 5, pp. 54—57. (In Russian).
3. Antonov Y.V. Separation of non-tidal gravity variations based on spectral analysis and averaging method, *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Geologiya*, 2013, no. 2, pp. 100—106. (In Russian).
4. Antonov Y.V. Vliyanie atmosfernogo fronta na pokazaniya gravimetrov i seysmometrov [The influence of atmospheric front on the readings of the gravimeters and seismometers]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Geologiya i razvedka* — [Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration], 2017, no 4, pp. 66—71. (In Russian).
5. Antonov Y.V. Comparison of tidal variations of gravity and vertical component of the seismograph, *Geofizika*, 2016, no 2, pp. 27—31. (In Russian).
6. Antonov Y.V., Sizask I.A. Synchronous pulsations in non-tidal variations of gravitational and seismic fields. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Geologiya i razvedka* — [Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration], no 5, pp. 46—52. (In Russian).

ЗА ВИТРИНОЙ МУЗЕЯ

УДК 568.193.1:551.763.3(234.86)

О НАХОДКАХ ДИНОЗАВРОВ В КРЫМУ

А.В. ЛОПАТИН, А.О. АВЕРЬЯНОВ

Палеонтологический институт им. А.А. Борисяка РАН
123, Профсоюзная ул., Москва 117647, Россия
e-mail: alop@paleo.ru

Riabininohadros weberae, представитель орнитопод из верхнего мела (верхний маастрихт) Крыма (Беш-Кош), характеризуется примитивными признаками строения задних конечностей, наблюдаемыми у игуанодонтий и базальных орнитисхий. Его филогенетическое положение определяется, как *Styracosterna* indet. Вторая находка динозавров в Крыму (Алёшино) представляет собой фрагментарный скелет, включающий шейные и грудные позвонки. Он может принадлежать продвинутому игуанодонтиду или примитивному гадрозавроиду. Таким образом, в маастрихте в Крыму существовало не менее двух видов динозавров.

Ключевые слова: динозавры; орнитоподы; *Styracosterna*; верхний маастрихт; Крым.

DOI:10.32454/0016-7762-2019-1-67-71

ON THE FINDINGS OF DINOSAURS IN THE CRIMEA

A.V. LOPATIN, A.O. AVERIANOV

Borissiak Paleontological Institute of Russian Academy of Sciences
123, Profsoyuznaya street, Moscow 117647, Russia
e-mail: alop@paleo.ru

Ornithopod dinosaur *Riabininohadros weberae* from the Upper Cretaceous (upper Maastrichtian) of the Crimean Peninsula (Besh-Kosh) shows a set of primitive characters of hind limbs observed in iguanodontids and basal ornithischians and is referred to as *Styracosterna* indet. The second dinosaur specimen from Crimea (Aleshino) is a fragmentary skeleton, including cervical and dorsal vertebrae. It possibly belongs to advanced iguanodontids or primitive hadrosauroids. Thus, in the Maastrichtian of the Crimean Peninsula, at least two dinosaur species coexisted.

Key words: dinosaurs; ornithopods; *Styracosterna*; upper Maastrichtian; Crimea.

К торжествам по случаю столетнего юбилея ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе» (МГРИ), проходившим в декабре 2018 г., Палеонтологический институт им. А.А. Борисяка Российской академии наук (ПИН) сделал сотрудникам, студентам и гостям МГРИ своеобразный подарок — в главном здании университета, рядом с актовым залом, была размещена временная экспозиция, посвящённая находкам остатков динозавров в Крыму (рис. 1). В состав экспозиции вошли натуральные кости крымских динозавров в специ-

ально оборудованной витрине, включая голотип *Riabininohadros weberae*, копия скелета близкого по внешнему виду динозавра *Probactrosaurus gobiensis* Rozhdestvensky, 1966 из Китая, а также стенд с сопроводительной информацией. Данная экспозиция была призвана познакомить гостей с новыми данными о динозаврах Крыма, а также напомнить о роли МГРИ в формировании данной небольшой коллекции. Летом 2018 г. выставка «Первый крымский динозавр» была впервые представлена широкой публике в Никитском ботаническом саду — Национальном научном центре РАН в Крыму, а в



Рис. 1. «Первые крымские динозавры», временная экспозиция Палеонтологического института им. А.А. Борисяка РАН в ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе» к столетию МГРИ, декабрь 2018 г.
Фото А.А. Карху

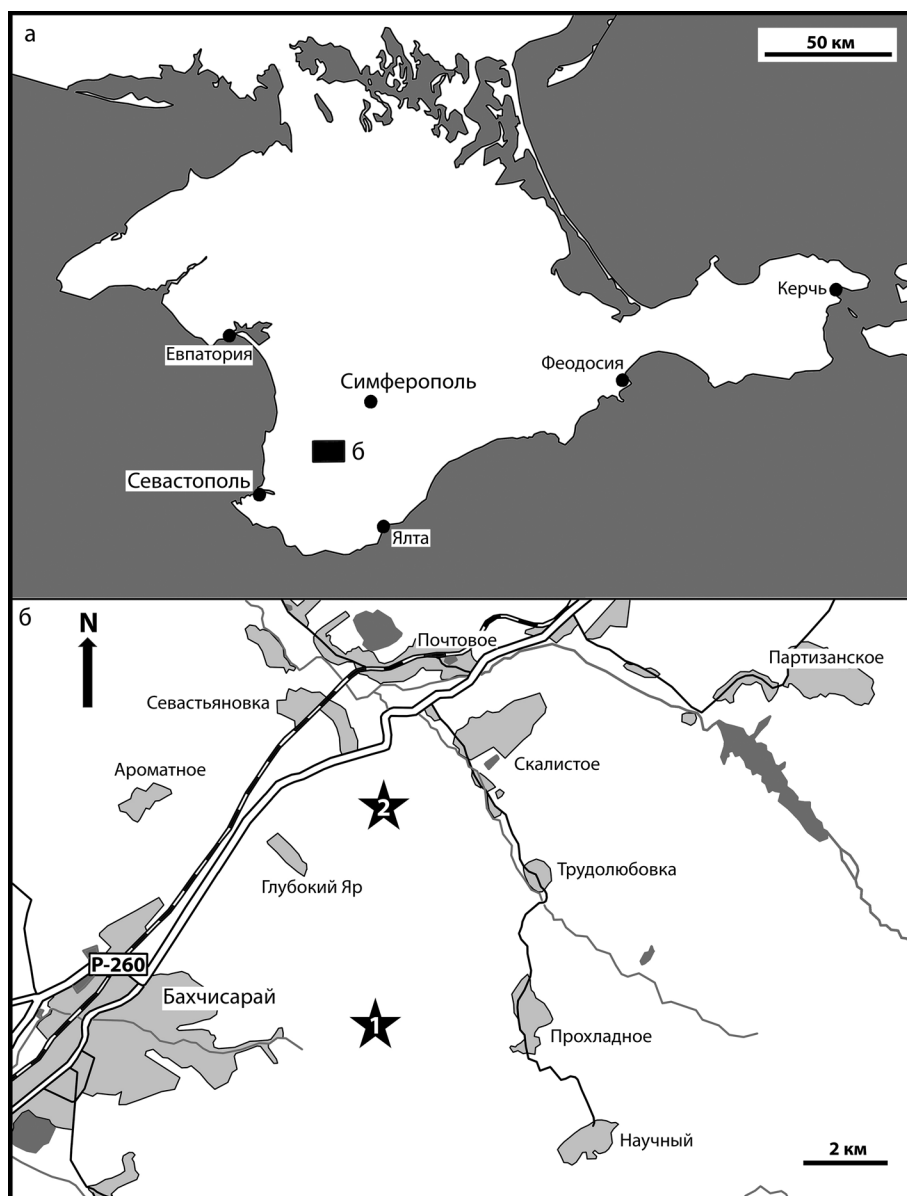


Рис. 2. Схема расположения местонахождений динозавров в Крыму (нижняя часть рисунка соответствует черному прямоугольнику в верхней части): 1 — гора Беш-Кош, *Riabinihoadros weberae* (Riabinih, 1945); 2 — с. Алёшино, *Styracosterna* indet



Рис. 3. *Riabinihoadros weberae* (Riabinih, 1945), голотип ЦНИГР музей № 5751, левые вторая и третья плюсневые кости, вид с дорсальной стороны и спереди; Россия, Республика Крым, Бахчисарайский район, гора Беш-Кош; верхний мел, верхний маастрихт

ноябре демонстрировалась в Палеонтологическом музее им. Ю.А. Орлова ПИН РАН.

В течение юрского и мелового периодов большая часть Русской платформы была покрыта морями. Это определяет исключительную редкость находок динозавров в Европейской России и на сопредельных территориях. Поэтому такой большой интерес представляют находки динозавров в морских отложениях верхнего мела Крыма.

Впервые остатки динозавра в Крыму в 1934 г. обнаружила Г.Ф. Вебер, специалист по ископаемым иглокожим из Ленинграда. Они были найдены на вершине горы Беш-Кош (рис. 2) в окрестностях г. Бахчисарая (Бахчисарайский район, Республика Крым) в морских глауконитовых известняках верхнего маастрихта [1, 4, 5]. По этим сборам А.Н. Рябинин [4] описал фрагмент бедренной кости, неполные большую и малую берцовые кости, три предплюсневые кости, две плюсневые кости

и первую фалангу второго пальца стопы, относящиеся, очевидно, к одному экземпляру (рис. 3).

По определению Рябинина, кости принадлежат птицетазовому динозавру (*Ornithischia*). Рябинин сравнил находку с известными в то время орнитоподами позднего мела Европы, главным образом, с *Orthomerus transsylvanicus* (Nopcsa, 1900) из маастрихта Румынии, и выделил её в новый вид *Orthomerus weberi* Riabinin, 1945. Оба исследователя, Г.Ф. Вебер и А.Н. Рябинин, умерли в блокадном Ленинграде, и описание крымского орнитопода было опубликовано посмертно [4]. Позже видовое название было исправлено на *O. weberae* [3].

В настоящее время румынский гадрозавр называется *Telmatosaurus transsylvanicus* и считается одним из самых примитивных представителей семейства *Hadrosauridae* [12]. В современных сводках описанный Рябининым таксон рассматривается как представитель гадрозавриды неясного система-

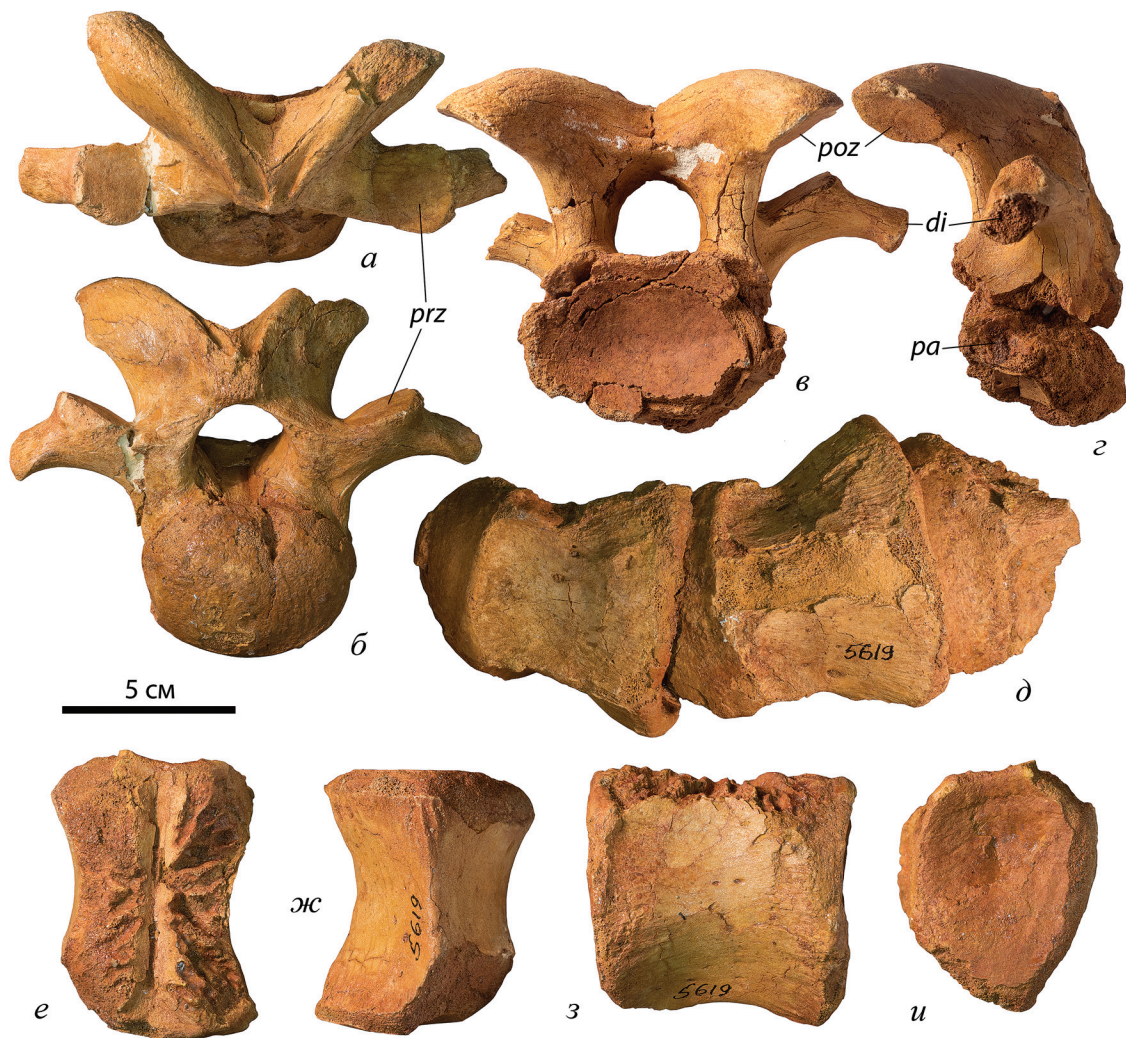


Рис. 4. *Styracosterna indet.*, экз. ПИН, № 5619/1: а, б — передний шейный позвонок, вид с дорсальной стороны (а) и спереди (б); в, г — передний шейный позвонок, вид сзади (в) и с латеральной стороны (г); д — три сочлененных тела шейных позвонков, вид с вентральной стороны; е–и — тело грудного позвонка, вид с дорсальной стороны (е), с вентральной стороны (ж), с латеральной стороны (з) и предположительно спереди (и); Россия, Республика Крым, Алёшино; верхний мел, верхний маастрихт. Обозначения: di — диапофиз; pa — парапофиз; poz — постзигапофиз; prz — презигапофиз

тического положения — *Nadrosauridae incertae sedis* [8, 9]. Относительно недавно *Orthomerus weberae* был выделен в особый род *Riabininohadros* [6], хотя данная ему родовая характеристика не содержит диагностических признаков.

Вторая находка была сделана в 1965 г. у заброшенного села Алёшино (Балта-Чокрак) в Бахчисарайском районе Республики Крым, на примерно равном расстоянии между сёлами Скалистое и Глубокий Яр. Здесь в рыхлом слое маастрихтского песчаника на границе с датскими известняками студент МГРИ Анатолий Трушников во время прохождения учебной геологической практики обнаружил серию костей посткраниального скелета орнитопода, включающую частично сочленённые шейные и изолированные грудные позвонки и грудные рёбра (рис. 4). Фрагмент скелета принадлежал молодому экземпляру, у которого большинство невральных дуг не срослось с телами позвонков. Находку А.И. Трушников в том же году передал в ПИН специалисту по динозаврам А.К. Рождественскому (сохранилась записка о передаче), но детально материал был исследован лишь в 2018 г. [2].

Е.Н. Щурова (МГРИ) сумела найти архивные сведения об авторе находки. Анатолий Иванович Трушников родился в 1939 г. в дер. Комарино Стародорожского района Минской области (ныне в Осиповичском районе Могилёвской области в Республике Беларусь). После успешного окончания средней школы в пос. Дараганово того же района отслужил в армии и поступил в МГРИ. Закончив в МГРИ два курса на очном обучении, в 1967 г. он перешёл на заочный факультет по специальности «разведка месторождений». Работал старшим техником во Всесоюзном научно-исследовательском ин-

ституте синтеза минерального сырья (ВНИИСИМС) в г. Александрове Владимирской области. В июне 1968 г. в ответ на вызов на экзаменационную сессию, посланный А.И. Трушникову, в МГРИ пришло извещение от начальника Сейдинской геологоразведочной партии Воркутинской комплексной геологоразведочной экспедиции Ухтинского территориального геологического управления Министерства геологии РСФСР А. Марченко о том, что А.И. Трушников, работавший в партии в должности техника, трагически погиб 1 мая 1968 г.

Строение задней конечности *Riabininohadros weberae* достаточно своеобразно и не имеет аналогов у известных игуанодонтий. Совокупность морфологических признаков позволяет определить филогенетическое положение *Riabininohadros weberae* как негадрозавроидного представителя ветви стиракостерн (*Styracosterna*) — группы, включающей гадрозаврид, игуанодонтид и другие таксоны, более близкие гадрозаврам нежели камптозавридам [2]. Фауна орнитопод позднего мела Европы достаточна своеобразна; она включает как продвинутых представителей *Nadrosauridae*, так и реликтовые таксоны, такие как базальный представитель гадрозаврид *Telmatosaurus* и базальные орнитоподы *Rhabdodontidae* [8, 11]. *Riabininohadros* является еще одним реликтовым элементом в позднемеловой фауне Европы, соответствующим по уровню эволюционного развития раннемеловым игуанодонтиям. Очевидно, этот вид смог дожить до самого конца позднего мела только благодаря островной изоляции. Длина рябининогадроза оценивается примерно в 6—6,5 м (длина бедренной кости 80 см). Таким образом, он явно не был карликовой формой (рис. 5), что свидетельствует о его относительно позднем вселении на островные территории



Рис. 5. Реконструкция внешнего вида *Riabininohadros weberae* (Riabinin, 1945), рисунок А.А. Атучина

Крыма. Для маастрихта Крыма характерна быстрая регрессия моря и переход к прибрежным условиям осадконакопления. Вероятно, как и ранее в сantonе—кампане [10], в маастрихте некоторые части Крыма были свободны от моря и заселялись с других территорий [7] наземными животными, включая динозавров.

Экземпляр из Алёшино, который можно также назвать «динозавром Трушников», судя по сочета-

нию опистоцельных шейных позвонков с амфицельными грудными позвонками [2], относится к продвинутым игуанодонтидам или примитивным гадрозавроидам.

Таким образом, в Крыму в маастрихте существовало не менее двух видов динозавров. При этом *Riabininohadros weberae* и «динозавр Трушников» представляют собой самые поздние по геологическому возрасту находки динозавров в России.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вебер Г.Ф. От Ялты через д. Коккоз до Бахчисарая. Международный Геологический Конгресс. XVII сессия. Южная экскурсия. Крымская АССР. М., Л.: Глав. ред. геолого-разведочной литературы, 1937. С. 48–58.
2. Лопатин А.В., Аверьянов А.О., Алифанов В.Р. Новые данные о динозаврах Крыма // Докл. Академии наук. 2018. Т. 482. № 6. С. 4–10.
3. Несов Л.А. Динозавры Северной Евразии: новые данные о составе комплексов, экологии и палеобиогеографии. СПб: Изд-во СПбГУ, 1995. 156 с.
4. Рябинин А.Н. Остатки динозавра из верхнего мела Крыма // Палеонтология и стратиграфия. 1945. Сб. 4. С. 4–10.
5. Рябинин А.Н. Новые находки ископаемых рептилий в Крыму // Природа. 1946. № 11. С. 65–66.
6. Уланский Р.Е. *Riabininohadros*, новый род для гадрозавра из маастрихта Крыма, Россия // *Dinologia*. 2015. 10 с.
7. Csiki-Sava Z., Buffetaut E., Osi A., Pereda-Suberbiola X., Brusatte S.L. Island life in the Cretaceous — faunal composition, biogeography, evolution, and extinction of land-living vertebrates on the Late Cretaceous European archipelago // *ZooKeys*. 2015. V. 469. P. 1–161.
8. Dalla Vecchia F.M. An overview of the latest Cretaceous hadrosauroid record in Europe // *Hadrosaurs* / Eds. D.A. Eberth, D.C. Evans. Bloomington, Indianapolis: Indiana Univ. Press, 2012. P. 268–297.
9. Horner J.R., Weishampel D.B., Forster C.A. *Hadrosauridae* // *The Dinosauria*. 2 ed. / Eds. D.B. Weishampel, P. Dodson, H. Osmolska. Berkeley, Los Angeles, London: Univ. California Press, 2004. P. 438–463.
10. Nikishin A.M., Alekseev A.S., Baraboshkin E.J., Kopaevich L.F., Gabdullin R.R., Badulina N.V. The Cretaceous history of the Bakhchisaray area, southern Crimea (Ukraine) // *Bulletin de l'Institut Royal des Sciences Naturelles de Belgique. Sciences de la Terre*. 2008. V. 78. P. 75–85.
11. Osi A., Prondvai E., Butler R.J., Weishampel D.B. Phylogeny, histology and inferred body size evolution in a new rhabdodontid dinosaur from the Late Cretaceous of Hungary // *PLoS One*. 2012. V. 7. № 9. e44318.
12. Weishampel D.B., Norman D.B., Grigorescu D. *Telmatosaurus transylvanicus* from the Late Cretaceous of Romania: the most basal hadrosaurid dinosaur // *Palaeontology*. 1993. V. 36. № 2. P. 361–385.

REFERENCES

1. Weber G.F. From Yalta to Bakhchisarai via Kokkoz village. *Mezhdunarodnyi Geologicheskii Kongress. XVII sessiya. Yuzhnaya ekskursiya. Krymskaya ASSR* [International Geological Congress: 17th Session: Southern Excursion: Crimean ASSR]. Moscow, Glav. Red. Geologo-razvedochnoi Literatury, 1937, pp. 48–58. (In Russian).
2. Lopatin A.V., Averianov A.O., Alifanov V.R. New data on dinosaurs of the Crimean Peninsula. *Doklady Biological Sciences*, 2018, vol. 482, pp. 206–209.
3. Nesov L.A. *Dinozavry Severnoi Evrazii: novye dannye o sostave kompleksov ekologii i paleobiogeografii* [Dinosaurs of Northern Eurasia: New Data on the Composition of Complexes Ecology and Paleogeography]. St. Petersburg, St. Petersburg. Gos. Univ., 1995. 156 p. (In Russian).
4. Riabinin A.N. Dinosaurian remains from the Upper Cretaceous of Crimea. *Paleontol. Stratigr.*, 1945, vol. 4, pp. 4–10. (In Russian).
5. Riabinin A.N. The new findings of fossil reptiles in the Crimea. *Priroda*, 1946, no. 11, pp. 65–66. (In Russian).
6. Ulansky R.E. *Riabininohadros*, a new genus for hadrosaur from Maastrichtian of Crimea, Russia, *Dinologia*, 2015, 10 p. (In Russian).
7. Csiki-Sava Z., Buffetaut E., Osi A., Pereda-Suberbiola X., Brusatte S.L. Island life in the Cretaceous — faunal composition biogeography evolution and extinction of land-living vertebrates on the Late Cretaceous European archipelago. *ZooKeys*, 2015, vol. 469, pp. 1–161.
8. Dalla Vecchia F.M. An overview of the latest Cretaceous hadrosauroid record in Europe. *Hadrosaurs*. Eds. D.A. Eberth, D.C. Evans, Bloomington Indianapolis: Indiana Univ. Press, 2012, pp. 268–297.
9. Horner J.R., Weishampel D.B., Forster C.A. *Hadrosauridae*. *The Dinosauria*, 2 ed. Eds. D.B. Weishampel, P. Dodson, H. Osmolska, Berkeley, Los Angeles, London: Univ. California Press, 2004, pp. 438–463.
10. Nikishin A.M., Alekseev A.S., Baraboshkin E.J., Kopaevich L.F., Gabdullin R.R., Badulina N.V. The Cretaceous history of the Bakhchisaray area southern Crimea (Ukraine). *Bulletin de l'Institut Royal des Sciences Naturelles de Belgique, Sciences de la Terre*, 2008, vol. 78, pp. 75–85.
11. Osi A., Prondvai E., Butler R.J., Weishampel D.B. Phylogeny histology and inferred body size evolution in a new rhabdodontid dinosaur from the Late Cretaceous of Hungary. *PLoS One*, 2012, vol. 7, no. 9, e44318.
12. Weishampel D.B., Norman D.B., Grigorescu D. *Telmatosaurus transylvanicus* from the Late Cretaceous of Romania: the most basal hadrosaurid dinosaur. *Palaeontology*, 1993, vol. 36, no. 2, pp. 361–385.

КРИТИКА И БИБЛИОГРАФИЯ

УДК 567.953:551.761.1(47)

**О МОНОГРАФИИ «РАННЕТРИАСОВЫЕ АМФИБИИ ВОСТОЧНОЙ ЕВРОПЫ:
ЭВОЛЮЦИЯ ДОМИНАНТНЫХ ГРУПП И ОСОБЕННОСТИ СМЕНЫ
СООБЩЕСТВ»¹**

В.Н. КОМАРОВ

*ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе»
23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия
e-mail: komarovmgri@mail.ru*

Монография представляет собой первое обобщающее исследование по фауне раннетриасовых амфибий Восточной Европы, в котором ревизуются данные по её таксономическому разнообразию, происхождению и путям диверсификации доминантных групп, а также их стратиграфическому и географическому распространению. Высказаны оригинальные идеи о филогенетических связях отдельных таксонов, выявлены и охарактеризованы этапы становления и начальной радиации доминантных групп. На этой основе детализирована история развития восточно-европейских раннетриасовых тетрапод, известная как наиболее полно документированная в мире для этого времени. Внесены существенные изменения в биостратиграфическую схему континентального нижнего триаса Восточной Европы по тетраподам, что позволило уточнить или впервые обосновать возраст ряда ранее выделенных здесь стратонов.

К л ю ч е в ы е с л о в а: амфибии; нижний триас; Восточная Европа.

DOI:10.32454/0016-7762-2019-1-72-74

**ABOUT THE MONOGRAPH «EARLY TRIASSIC AMPHIBIANS OF EASTERN
EUROPE: EVOLUTION OF DOMINANT GROUPS AND PECULIARITIES
OF COMMUNITIES CHANGE»**

V.N. KOMAROV

*Russian State Geological Prospecting University
23, Miklouho-Maklay's street, Moscow 117997, Russia
e-mail: komarovmgri@mail.ru*

The monograph is the first generalizing study on the fauna of the early Triassic amphibians of Eastern Europe, which reviews data on its taxonomic diversity, origin and ways of diversification of dominant groups, as well as their stratigraphic and geographical distribution. Original new ideas about the phylogenetic connections of separate taxa have been stated, stages of formation and the initial radiation of the dominant groups have been revealed and characterized. On this basis, the history of the development of Eastern European early Triassic tetrapods, known as the most fully documented in the world for that time, has been detailed. Significant changes have been made to the biostratigraphic scheme of the continental Lower Triassic of Eastern Europe for tetrapods, which made it possible to clarify or justify for the first time the age of a number of strata, previously identified there.

K e y w o r d s: amphibians; Lower Triassic; Eastern Europe.

¹Новиков И.В. Раннетриасовые амфибии Восточной Европы: эволюция доминантных групп и особенности смены сообществ. (Тр. ПИН РАН. Т. 296). М.: Изд-во РАН, 2018. 358 с.

Рецензируемая монография представляет собой первую сводку по фауне раннетриасовых амфибий Восточной Европы. Она включает, помимо введения и заключения, шесть глав, каталог местонахождений нижнетриасовых амфибий Восточной Европы, а также 22 фототаблицы и объяснения к ним.

В первой главе (24 с.) детально проанализирована история изучения раннетриасовых амфибий Восточной Европы.

Вторая, самая объёмная глава (102 с.) представляет собой систематическую часть. Исследование таксономического разнообразия фауны раннетриасовых амфибий Восточной Европы показало, что она включает не менее 44 видов, относящихся к двум подклассам, пяти отрядам, 12 семействам и 26 родам. В результате ревизии родов *Wetlugasaurus* и *Benthosuchus*, наиболее распространённых в нижнем триасе региона, установлено, что в составе первого валидны только *W. angustifrons* и *W. malachovi*, а в составе второго — *B. sushkini*, *B. korobkovi*, *B. bashkiricus* и новый архаичный вид *B. gusevae*. Показано, что материал, относимый к форме, ранее известной как *W. samarensis*, целиком принадлежит трём иным родам — гренландскому *Selenocara* и двум новым эндемичным родам *Samarabatrachus* и *Syrtosuchus*. Из подсемейства *Thoosuchinae* в подсемейство *Platysteginae* перенесены роды *Angusaurus* и *Trematotegmen*, причём обе эти группы включены в состав *Trematosauridae*. Подтверждена принадлежность *Inflectosaurus* к трематозавридам. Впервые для региона установлено присутствие родов *Selenocara*, *Stoschiosaurus* и *Trematosaurus*, ранее известных соответственно из Восточной Гренландии (первые два) и Западной Европы, а также aberrантной группы трематозавроидов, выделенной в семейство *Qantasidae*. Выявлены возможные ранние представители *Yarengiidae* и типичных капитозаврид (*Poryolosuchus*), связывающие эти группы соответственно с семейством *Benthosuchidae* и новым подсемейством *Selenocarinae*. Установлены представители поздних этапов в развитии *Batrachosuchoides*, а также капитозавридных родов *Wetlugasaurus* и *Parotosuchus*.

Анализу группового состава раннетриасовых амфибий Восточной Европы и родственных отношений внутри доминантных групп посвящён третий раздел (29 с.).

Автором выявлен начальный этап в развитии лавразийских капитозаврид, характеризующийся позднеиндским подсемейством *Selenocarinae*. Обосновано его анцестральное положение по отношению к двум линиям европейских капитозаврид, представленных подсемействами *Wetlugosaurinae* и *Parotosuchinae*. При этом «ветлугозавринная» ветвь обнаруживает дифференциацию в двух направлениях, представленных родами *Wetlugasaurus* и *Vladlenosaurus*, из которых второе является более aberrантным и отличается высокой степенью выраженности «трематозавроидных» особенностей. Сделан вывод о том, что надсемейство *Trematosauridae* включает пять групп, демонстрирующих различные варианты мозаичного сочетания продвинутых трематозавридных черт и более примитивных особенностей различного эволюционного уровня. К числу наиболее aberrантных из этих вариантов относится монотипичное семейство *Qantasidae*, сочетающее бентозухидные и трематозавридные особенности с более архаичными чертами, редкими среди триасовых *Temnospondyli*. Относимое ранее к трематозавроидам семейство *Heyleosauridae* принадлежит особой линии развития капитозавроидных дериватов, в которой отдельные трематозавроидные черты, вероятно, возникли параллельно с их приобретением у настоящих трематозавроидов, и выделяется в самостоятельное надсемейство. В становлении другой регионально доминирующей группы раннетриасовых темноспондидов — бентозухид также установлен ранее неизвестный (позднеиндский) этап, представленный новым монотипичным подсемейством *Syrtosuchinae*. Эта примитивная группа вместе с типичными бентозухидами представляют две самостоятельные ветви, разошедшиеся на уровне, близком к их общему капитозавроидному предку. В ветви, представленной сыртозухидами, как правило, трематозавроидные признаки выражены намного слабее, чем у бентозухин. Отмечено, что в историческом развитии тре-

матозаврид выделяются две линии, одна из которых, наиболее полно представленная в нижнем триасе Восточной Европы, включает в числе других наиболее примитивные морфотипы и объединяет представителей четырёх раннетриасовых подсемейств: *Thoosuchinae*, *Platysteginae*, *Lyrocephaliscinae* и *Trematosaurinae*. Остальные подсемейства, известные в основном за пределами Восточной Европы, образуют обособленное эволюционное направление, отличающееся полной или частичной редукцией слёзной кости. Впервые систематизированы и описаны остатки реликтовых антракозавров-хрониозухий, представленных в нижнем триасе Восточной Европы семейством *Bystrowianidae*. За основу классификации автором выбрано строение туловищных щитков и характер их сочленения между собой. Проведённая гомологизация этих элементов у бистровианид и хрониозухид показала, что осевое сочленение между щитками в обеих группах построено однотипно и бистровианидный тип щитка выводится из хрониозухидного, соответствуя лишь его центральной части. Проведённый анализ путей эволюционных преобразований в строении бистровианидных остеоидов и их межщиткового сочленения показал, что в историческом развитии бистровианид выделяются два альтернативных направления. Первое, представленное подсемейством *Bystrowianinae*, в основном сохраняет консервативный тип остеоидов с расширенными передними крыльями. Для второго направления, документируемого подсемействами *Dromotectinae* и *Axitectinae*, характерна тенденция к утрате параксиальной зоны сочленения и сужению остеоидов на фоне нарастающей редукции их передних крыльев.

В четвёртой главе (58 с.) рассмотрены этапы смены амфибийных сообществ в истории раннетриасовых тетраподных фаун Восточной Европы. Подчёркнуто, что детализированная в процессе исследования история смены пионерных раннетриасовых тетраподных сообществ включает пять крупных и последовательных этапов, обозначаемых по доминантным родам темноспондильных амфибий как фауны *Tupilakosaurus*, *Selenocara*, *Syrtosuchus*, *Bentosuchus*, *Wetlugosaurus* и *Parotosuchus*. В составе трёх последних фаун в отдельных районах Восточно-Европейской платформы выделяются по две группировки. Фауна *Tupilakosaurus* характеризует вохминский горизонт Восточно-Европейской платформы и Южного Приуралья и датируется ранним индом. Фауна *Selenocara*-*Syrtosuchus* достоверно известна только из Бузулукской впадины, где она приурочена к заплавленному горизонту, имеющему, скорее всего, позднеиндский возраст. Раннеоленёкская фауна *Bentosuchus* типична для рыбинского горизонта Восточно-Европейской платформы и Южного Приуралья. В Бузулукской впадине бентозуховая фауна может быть разделена на две группировки — *B. gusevae* (ранняя) и *B. sushkini*. Фауна *Wetlugosaurus* также имеет раннеоленёкский возраст и характеризует слудкинский и устьмыльский горизонты Восточно-Европейской платформы и Южного Приуралья, а также их возрастные аналоги в Печёрской синеклизе и Северном Приуралье. В составе ветлугозавровой фауны выделяются группировки *W. angustifrons* (слудкинский горизонт) и *W. malachovi* (устьмыльский горизонт). Позднеоленёкская фауна *Parotosuchus* типична для фёдоровского и гамского горизонтов Восточно-Европейской платформы и Южного Приуралья, где она подразделяется соответственно на группировки *Inflectosaurus* и *Trematosaurus*. Отдельные элементы фауны отмечены также в разновозрастных отложениях Припятского прогиба, Северного Приуралья и, вероятно, Печёрской синеклизы.

В пятой главе (10 с.) охарактеризована пространственная дифференциация амфибий Восточной Европы в составе раннетриасовых тетраподных фаун. Отмечено, что на протяжении всего раннего триаса территория Восточной Европы обнаруживает биогеографическую дифференциацию по фауне наземных позвоночных, максимум которой и для амфибий, и для рептилий приходится на конец раннего триаса. Наблюдаемые местные различия в разновозрастных раннетриасовых тетраподных сообществах позволяют выделить здесь три региона, характери-

зующихся как особенностями зоогеографических связей, так и палеогеографической спецификой: северный (Московская, Мезенская, Печёрская синеклизы, Вятско-Камская впадина и Северное Приуралье), южноприуральский (Бузулукская впадина и Южное Приуралье) и прикаспийский (юго-восточный склон Воронежской антеклизы и Прикаспийская синеклиза). Южноприуральский регион на протяжении почти всего раннего триаса отличался сохранением фаунистических связей с гондванскими областями. Своеобразие Прикаспийского региона в позднеоленёкское время, с одной стороны, обусловлено связью с Германским бассейном и более западными областями Евразии, а с другой — с расположением его на западном побережье северного залива Тетиса. Для северного региона в раннеиндское время очевидна высокая степень фаунистической общности с северным шельфом Западной Лавразии (Гренландия), а в позднеоленёкское время — присутствие отдельных связей с Северной Америкой.

Заключительная шестая глава (28 с.) является кратким очерком стратиграфии нижнего триаса Восточной Европы. На основе изучения фауны амфибий и сопутствующих данных по тетраподам внесены уточнения в региональные стратиграфические схемы триасовых отложений Мезенской и Московской синеклиз, Волго-Уральской и Воронежской антеклиз, а также Приуралья. Верхняя часть поздневулжских отложений Московской синеклизы, Вятско-Камской впадины, Мезенской синеклизы, Бузулукской впадины, а также Южного Приуралья выделены

в устьмыльский горизонт, охарактеризованный группировкой *Wetlugasaurus malachovi* фауны *Wetlugasaurus*. На основе верхне-сухореченской подсвиты Бузулукской впадины, содержащей типовые местонахождения фауны *Selenocara-Syrtosuchus*, установлен новый, заплавненский горизонт, промежуточный между вохминским и рыбинским. Уточнён возрастной диапазон копанской свиты Южного Приуралья, которая в нижней своей части содержит раннеиндскую фауну *Tupilakosaurus*, а в верхней — ведущие элементы группировки *Bentosuchus sushkini* раннеоленёкской фауны *Bentosuchus*. Доказан гамский возраст липовской свиты юго-восточного склона Воронежской антеклизы, охарактеризованной группировкой *Trematosaurus* фауны *Parotosuchus*. Установлено широкое распространение яренского надгоризонта в пределах Бузулукской впадины, где он представлен обоими горизонтами с типичными для каждого тетраподными комплексами. Скорректирована верхняя граница нижнего триаса в Коротаихинской и Большесынинской впадинах. В обеих структурах разрез нижнего триаса венчают отложения, охарактеризованные элементами фауны *Parotosuchus*, — нижнелестаншорская подсвита и бызовская свита соответственно, в то время как перекрывающие их породы содержат уже среднетриасовые палинокомплексы.

Монография И.В. Новикова написана на высочайшем профессиональном уровне в лучших традициях классической российской палеонтологии. Она будет интересна не только специалистам, но и более широкому кругу читателей, интересующихся естествознанием.

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 550.34.037

К ВОПРОСУ О СИНХРОННОЙ РАБОТЕ ИМПУЛЬСНЫХ ИСТОЧНИКОВ
СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЛН

С.П. ЭКОМАСОВ

ООО «Силовые импульсные системы»
31, Алтуфьевское шоссе, г. Москва 127410, Россия
e-mail: itcsys@rambler.ru

Исследования производились с использованием гидропневматического источника сейсмических волн. Этот источник по реализуемым усилиям ударного взаимодействия с грунтовым полупространством значительно превышает все известные конструкции излучателей импульсного типа. В связи с этим он показывает более высокую сейсмическую эффективность. Важнейшей характеристикой работы импульсных источников сейсмических волн является стабильность времени срабатывания — интервала времени от момента подачи сигнала на производство удара до момента самого удара. Только при достижении необходимой стабильности возможна работа в режиме группирования источников и накопления сигналов. Приведены особенности формирования времени срабатывания гидропневматического источника. Выполнен анализ оценки параметров синхронности импульсных источников современной системой управления их работы. Показано влияние жёсткости грунта на оценку стабильности времени срабатывания и синхронность. Используемая в существующих импульсных источниках система оценки стабильности при применении её в излучателях, обладающих большим усилием удара, не отражает фактическую стабильность времени срабатывания.

Ключевые слова: импульсный источник; параметры синхронности; метод измерения; жёсткость грунта.

DOI:10.32454/0016-7762-2019-1-75-79

TO THE SYNCHRONOUS WORK OF PULSED SOURCES OF SEISMIC WAVES

S.P. EKOMASOV

LLC *Silovye impulsnye sistemy*
31, Altufyevskoye Highway, Moscow 127410, Russia
e-mail: itcsys@rambler.ru

Researches have been made with the use of a hydropneumatic source of seismic waves. This source on the realized efforts of the shock interaction with a soil half-space considerably exceeds all known designs of radiators (sources) of pulse type. In this regard it shows higher seismic efficiency. The most important characteristic of the work of the pulse sources of seismic waves is a stability of the response time — a time interval from the moment of giving of a signal for producing of the blow until the very blow. Only with the achievement of the necessary stability the work in the mode of grouping of sources and accumulation of signals is possible. Features of the formation of response time of a hydropneumatic source are given. The analysis of the assessment of the parameters of synchronism of the pulse sources is made by a modern control system of their work. An influence of the rigidity of the soil on the assessment of stability of the response time and synchronism is shown. The system of the assessment of the stability used in the existing pulse sources at its application does not reflect the actual stability of response time in the radiators possessing a big force of blow.

Keywords: pulse source; synchronism parameters; measurement method; rigidity of soil.

Работа импульсных источников сейсмических волн в режимах группирования машин и накопления сигналов предъявляет особые требования к синхронности срабатывания излучателей всей группы. Синхронность срабатывания достигается высокой степенью постоянства времени от момента подачи сигнала на производство его удара до момента начала самого удара. Назовём этот параметр временем срабатывания излучателя (T_C).

В известных электромагнитных источниках для запуска операции «удар» используется только электрическая энергия. Вследствие быстрого протекания электрических процессов достигается высокая степень постоянства времени T_C . Стабильность его достигает $\pm 0,1$ мс.

В гидропневматических источниках (ГПИ) [2, 4] аналогично пневмопушкам, широко используемых в морской сейсморазведке, время T_C складывается из электрической составляющей и пневматической. Первая состоит в основном из времени срабатывания электропневматического клапана, вторая — из времени перетекания определенной порции сжатого воздуха из одной полости в другую. Для ГПИ — из рабочего объёма камеры в полость пневмозамка. Время срабатывания электропневматического клапана составляет около 5 мс, при стабильности в пределах $\pm 0,1$ мс. При этом для его срабатывания используется импульсный электросигнал повышенного напряжения. Время перетекания воздуха в пневмозамок зависит от типоразмера источника (объёма полости пневмозамка) и сечения перепускных каналов. Полное время T_C изменяется от 20 мс для ГПИ-1 до

25 мс для ГПИ-2. При этом стабильность T_C для обеих установок (см. далее) находится в пределах ± 1 мс.

В преобладающих случаях на практике для импульсных источников используется разработанный фирмой «Сиб-геофизприбор» блок синхронизации источников с сейсмостанцией SGD-SP. Блок, в числе выполняемых функций, контролирует синхронность срабатывания излучателей в работающей группе. На реактивных массах всех камер устанавливаются цифровые акселерометры SGD-AD. Цифровые параметры удара — момент времени срабатывания (регистрируемое как начало удара) и длительность импульса ускорения отражаются на пульте, установленном в кабине источника. За момент начала удара при этом принимается время пересечения регулируемого порога ускорения с импульсом, а за длительность импульса — время от момента начала удара до падения ускорения в импульсе до половинного значения установленного порога. По этим параметрам устанавливается как сам факт срабатывания всех камер, так и синхронность их работы.

Разработанная для электромагнитных источников система SGD-SP учитывает высокую степень повторяемости импульса ускорения перемещения реактивной массы. Это обусловлено незначительными нагрузками на контакте гильза—грунт и малыми деформациями грунта в процессе удара. Только в этом случае жёсткость грунта практически не оказывает влияния на динамику перемещения реактивной массы камеры.

Усилие, развиваемое на контакте плита — грунт гидропневматической камеры ГПИ-2, в 5–6 раз больше ана-

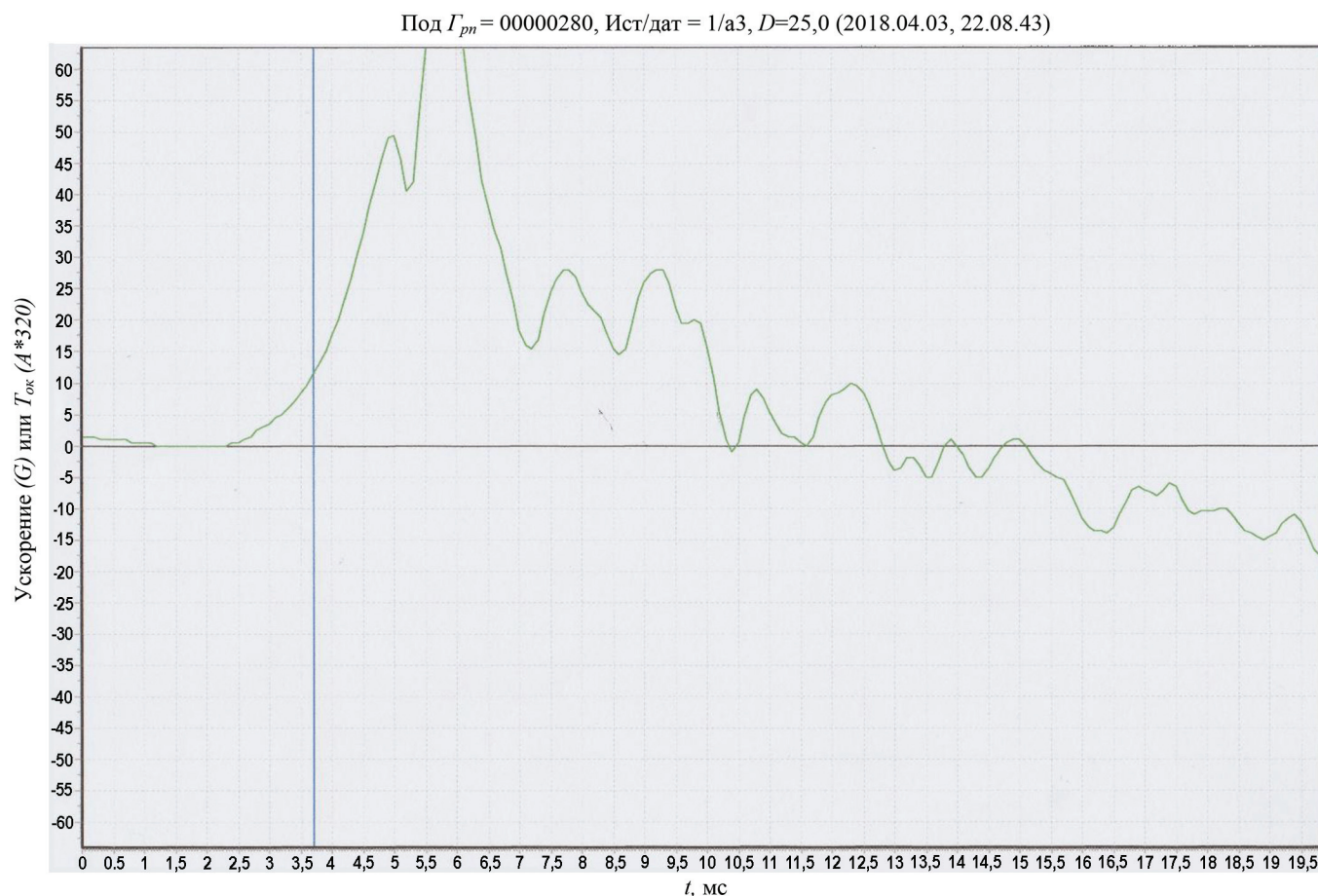


Рис. 1. Импульс первой камеры ГПИ-2

логичного показателя камеры электромагнитного источника КЭМ-4. Контактные нагрузки и деформация грунта вследствие этого, а также ввиду меньшей площади самого контакта для камеры ГПИ-2 выше ещё в большей степени. Здесь влияние жёсткости грунта на динамику движения как самой плиты, так и реактивной массы весьма значительно.

В процессе удара импульс силы, действующей на плиту и реактивную массу, одинаков. В некотором приближении можно записать:

$$F_1 t = F_C t + m_{\Pi} V_{\Pi} = m_P V_P, \quad (1)$$

где F_1 — сила сжатого воздуха, действующая на плиту и реактивную массу в рабочем объёме гидропневматической камеры в процессе удара; t — время действия этой силы; F_C — сопротивление грунта; m_{Π} — масса плиты; V_{Π} — скорость перемещения плиты; m_P — реактивная масса; V_P — скорость перемещения реактивной массы.

Рассмотрим крайние случаи. При малой жёсткости грунта $F_C \rightarrow 0$ выражение (1) приобретает вид:

$$m_{\Pi} V_{\Pi} = m_P V_P. \quad (2)$$

Учитывая значительное (в 3,5 раза) превышение отнительно m_{Π} , скорость V_P принимает наименьшее значение. В обратном случае — при ударе об условно недеформируемую преграду (очень жёсткий грунт) $V_{\Pi} \rightarrow 0$ и весь импульс силы расходуется на перемещение m_P .

Здесь V_P — максимальна. Максимально и ускорение реактивной массы. Меняется как сам вид кривой ускорения, регистрируемой акселерометрами, так и оценка времени срабатывания излучателя системой SGD-SP. При этом фактически это время не меняется. Отмеченная закономерность в наибольшей степени проявляется при работе излучателей с большим усилием воздействия на грунт. Здесь при больших F_1 диапазон изменения скорости реактивной массы, приобретаемой ею в процессе удара, при изменении жёсткости грунта весьма велик. Регистрируемые при этом амплитуды и формы импульса ускорения изменяются также значительно. Этот факт и приводит к ошибке оценки времени срабатывания, измеряемое по показаниям системы SGD-SP.

Сказанное иллюстрируется записями ударных импульсов ГПИ-2, зарегистрированных на пульте системы синхронизации (рис. 1). Грунтовые условия при ударах отличаются незначительно. Однако угол наклона передних фронтов импульсов ускорения (рис. 2) отличается настолько, что при настройке порога срабатывания на уровне (20÷25) g фиксируемое время начала удара отличается примерно на 1 мс. При этом фактически момент начала перемещения реактивных масс (момент начала формирования импульса ускорения — практически момент начала удара) одинаков для рассматриваемых случаев. При более значительном отличии жёсткости грунта под плитами излучателей источников всей группы отмеченный характер влияния ещё более выражен и различие величин T_C , регистрируемых системой синхронизации, может достигать нескольких миллисекунд.



Рис. 2. Импульс второй камеры ГПИ-2

В таблице приведены результаты записей 25 ударов ГПИ-2. Синхронность здесь находится в пределах ± 1 мс. Настройка порога срабатывания ускорения соответствует 25 g. Это обусловлено тем, что на более низких значениях ускорения фиксируемая длительность импульса превышает время окна записи на сейсмостанции.

Интерес представляет оценка влияния степени синхронности излучателей на сейсмический эффект — амплитуду и частотный спектр генерируемых волн. Специальная серия опытов была выполнена с помощью газодинамического двухкамерного источника ГСК-6М [2]. Собственная синхронность срабатывания камер находилась в пределах 0,1 мс. В скважине глубиной 20 м была размещена группа сейсмоприемников. Камеры источника устанавливались на расстоянии 5 м от устья скважины. Для обеспечения временной задержки срабатывания камер одна относительно другой (Δt) использовался специально разработанный прибор. Сигналы от сейсмоприемников поступали на усилитель 8АН4-7М и далее на осциллограф К-115. На рис. 3 и 4 приведены полученные

зависимости амплитуд сигналов и видимой их частоты от времени задержки срабатывания (глубина размещения сейсмоприемника 18 м). Амплитуда сигнала при задержке Δt 8 мс падает на 45% и видимая частота сигнала также снижается. Таким образом, невысокая синхронность работы излучателей в группе действительно снижает сейсмический эффект работы источников. Однако синхронность в пределах 1 мс практически не влияет на достигаемый эффект.

Рассмотрим другой аспект работы источников в группе. В реальных условиях положение места установки на

Результаты записи 25 ударов ГПИ-2 системой SGD-SP

Подгруппа	Профиль	Пикет	Ист/Дат	Дата и время	t, мс	U, D, мс
00000279	00000000	00000012	1 / а3	2018.07.19 18:01:36	6.0	0 25.0
00000279	00000000	00000013	1 / а1	2018.07.19 18:01:58	5.5	0 25.0
00000279	00000000	00000013	1 / а3	2018.07.19 18:01:58	6.1	0 25.0
00000279	00000000	00000014	1 / а1	2018.07.19 18:02:22	5.5	0 25.0
00000279	00000000	00000014	1 / а3	2018.07.19 18:02:22	6.0	0 25.0
00000279	00000000	00000015	1 / а1	2018.07.19 18:02:43	5.2	0 25.0
00000279	00000000	00000015	1 / а3	2018.07.19 18:02:43	5.8	0 25.0
00000279	00000000	00000016	1 / а1	2018.07.19 18:03:03	4.7	0 25.0
00000279	00000000	00000016	1 / а3	2018.07.19 18:03:03	5.2	0 25.0
00000279	00000000	00000017	1 / а1	2018.07.19 18:03:59	5.1	0 25.0
00000279	00000000	00000017	1 / а3	2018.07.19 18:03:59	5.8	0 25.0
00000279	00000000	00000018	1 / а1	2018.07.19 18:04:20	4.9	0 25.0
00000279	00000000	00000018	1 / а3	2018.07.19 18:04:20	5.7	0 25.0
00000279	00000000	00000019	1 / а1	2018.07.19 18:04:45	5.1	0 25.0
00000279	00000000	00000019	1 / а3	2018.07.19 18:04:45	5.7	0 25.0
00000279	00000000	00000020	1 / а1	2018.07.19 18:05:14	5.3	0 25.0
00000279	00000000	00000020	1 / а3	2018.07.19 18:05:14	5.8	0 25.0
00000279	00000000	00000021	1 / а1	2018.07.19 18:05:40	5.4	0 25.0
00000279	00000000	00000021	1 / а3	2018.07.19 18:05:40	5.9	0 25.0
00000279	00000000	00000022	1 / а1	2018.07.19 18:06:08	5.6	0 25.0
00000279	00000000	00000022	1 / а3	2018.07.19 18:06:08	6.1	0 25.0
00000279	00000000	00000023	1 / а1	2018.07.19 18:06:32	4.7	0 25.0
00000279	00000000	00000023	1 / а3	2018.07.19 18:06:32	5.3	0 25.0
00000279	00000000	00000024	1 / а1	2018.07.19 18:06:54	4.6	0 25.0
00000279	00000000	00000024	1 / а3	2018.07.19 18:06:54	5.3	0 25.0
00000279	00000000	00000025	1 / а1	2018.07.19 18:07:16	5.2	0 25.0
00000279	00000000	00000025	1 / а3	2018.07.19 18:07:16	5.9	0 25.0
00000279	00000000	00000026	1 / а1	2018.07.19 18:07:37	5.2	0 25.0
00000279	00000000	00000026	1 / а3	2018.07.19 18:07:37	5.9	0 25.0
00000279	00000000	00000027	1 / а1	2018.07.19 18:07:58	5.3	0 25.0
00000279	00000000	00000027	1 / а3	2018.07.19 18:07:58	6.0	0 25.0
00000279	00000000	00000028	1 / а1	2018.07.19 18:08:20	5.3	0 25.0
00000279	00000000	00000028	1 / а3	2018.07.19 18:08:20	6.0	0 25.0
00000279	00000000	00000029	1 / а1	2018.07.19 18:08:42	4.7	0 25.0
00000279	00000000	00000029	1 / а3	2018.07.19 18:08:42	5.4	0 25.0
00000279	00000000	00000030	1 / а1	2018.07.19 18:09:03	5.1	0 25.0
00000279	00000000	00000030	1 / а3	2018.07.19 18:09:03	5.9	0 25.0
00000279	00000000	00000031	1 / а1	2018.07.19 18:09:24	4.6	0 25.0
00000279	00000000	00000031	1 / а3	2018.07.19 18:09:24	5.5	0 25.0
00000279	00000000	00000032	1 / а1	2018.07.19 18:09:46	4.7	0 25.0
00000279	00000000	00000032	1 / а3	2018.07.19 18:09:46	5.4	0 25.0
00000279	00000000	00000033	1 / а1	2018.07.19 18:11:17	4.5	0 25.0
00000279	00000000	00000033	1 / а3	2018.07.19 18:11:17	5.3	0 25.0

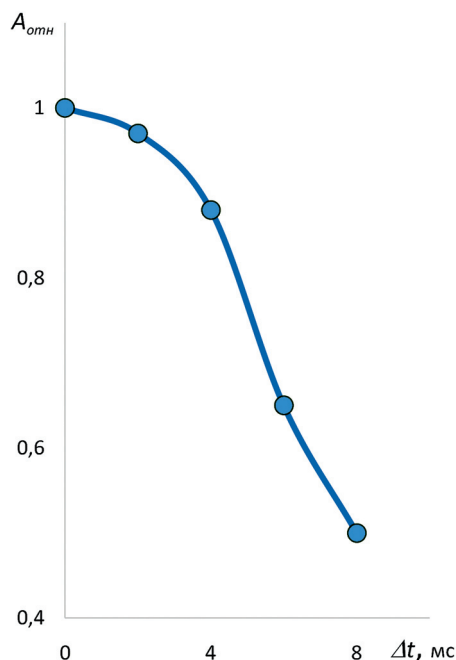


Рис. 3. Зависимость амплитуды сигнала от времени задержки срабатывания камер ГСК-6

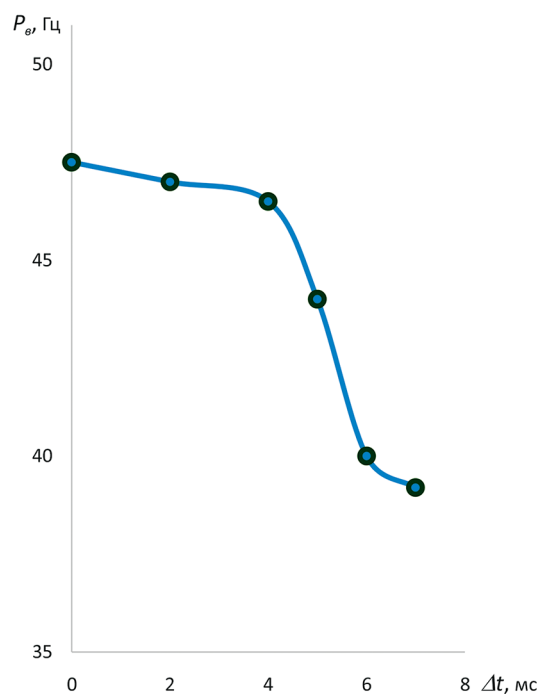


Рис. 4. Зависимость видимой частоты сигнала от времени задержки срабатывания камер ГСК-6

грунт плит излучателей на точке возбуждения относительно плоскости рельефа местности весьма различны. Например, плита одного излучателя находится выше относительно плиты другого излучателя на 0,2 м. Средняя скорость распространения продольной волны в верхних слоях и песков, и супесей, и суглинков не превышает 200 м/с [1]. Указанные выше 0,2 м будут пройдены волной за 1 мс. Таким образом, при абсолютной синхронной работе этих излучателей реализуется эффект несинхронного удара в пределах этой миллисекунды. В этой связи требования микросекундных уровней синхронности импульсных источников не обоснованы.

Выводы

1. Используемая система оценки стабильности времени срабатывания для источников с большим усилием удара вследствие возрастающего влияния жёсткости грунта не отражает истинную величину времени срабатывания.
2. Невысокая синхронность работы излучателей в группе снижает сейсмический эффект. Однако синхронность в пределах ± 1 мс практически не влияет на достигаемый эффект.
3. Требования микросекундных уровней синхронности импульсных источников не обоснованы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алешин А.С., Пиоро Е.В. О влиянии обводненности грунтов на результаты сейсмического микрорайонирования // Инженерные изыскания. 2015. № 4. С. 34—40.
2. Гафаров Р.М., Сираев И.А., Экомасов С.П., Барбиери П. Гидропневматический источник (ГПИ-2) — новый поверхностный источник возбуждения сейсмических колебаний // Геофизика. 2017. № 3. С. 14—23.
3. Фонберштейн Е.Г., Экомасов С.П. Импульсные газодинамические машины для горных и геологоразведочных работ. М.: Недра, 1994, 224 с.
4. Экомасов С.П. Аналитическое определение параметров гидропневматического источника сейсмических волн // Известия вузов. Геология и разведка. 2016. № 5. С. 41—44.

REFERENCES

1. Alyoshin A.S., Pioro E.V. About influence of water content of soil on results of seismic microdivision into districts. *Engineering researches*, 2015, no. 4, pp. 34—40.
2. Gafarov R.M., Sirayev I.A., Komarov S.P., Barbiyeri P. A hydro-pneumatic source (GPI-2) — a new superficial source of initiation of seismic fluctuations. *Geophysics*, 2017, no. 3, pp. 14—23.
3. Fonberstein E.G., Ekomasov S.P. *Pulse gasdynamic cars for mining and exploration works*. M., Nedra Publ., 1994, 224 p.
4. Komarov S.P. Analytical determination of parameters of a hydropneumatic source of seismic waves. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Geologiya i razvedka* — [Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration], 2016, no. 5, pp. 41—44.

УДК 556.3.06

ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ И ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ РИСКИ ПРИ ПРОГНОЗИРОВАНИИ КАЧЕСТВА ПИТЬЕВЫХ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ (ИЗУЧЕНИЕ, АНАЛИЗ, ПРОГНОЗ, УПРАВЛЕНИЕ)

В.Ю. АБРАМОВ, Б.В. БОРЕВСКИЙ, Г.Е. ЕРШОВ

Гидрогеологическая и геоэкологическая компания «ГИДЭК»
10а, 15 я Парковая ул., г. Москва 105203, Россия
e-mail: info@hydec.ru

Рассмотрены гидрогеологические, геоэкологические и экономические риски, связанные с неподтверждением прогнозных расчётов расходов, уровней и качества подземных вод при оценке их запасов. Повышение достоверности прогнозов изменения качества питьевых подземных вод и соответствующее снижение рисков, связанных с их неподтверждением, может быть достигнуто путём проведения комплекса специальных гидрогеохимических, в том числе изотопных, исследований эксплуатируемых месторождений. На базе таких исследований возможно сопоставление данных прогнозных расчётов по результатам разведки и реально наблюдаемых при эксплуатации показателей качества подземных вод и усовершенствованы теоретические и методические основы изучения недр и прогнозирования.

К л ю ч е в ы е с л о в а: риски; запасы; качество; подземные воды; прогноз.

DOI:10.32454/0016-7762-2019-1-79-84

HYDROGEOLOGICAL AND GEOECOLOGICAL RISKS WHILE FORECASTING THE QUALITY OF UNDERGROUND DRINKING WATER DURING ITS USE (STUDY, ANALYSIS, FORECASTING, MANAGEMENT)

V.YU. ABRAMOV, B.V. BOREVSKY, G.E. ERSHOV

*Hydrogeological and geoecological Company «Hydec»
10a, 15th Parkovaya st., Moscow 105203, Russia
e-mail: info@hydec.ru*

The hydrogeological, geoecological and economical risks connected with the non-confirmation of groundwater discharge, levels and quality forecast calculations while the evaluation of the reserves, have been considered. Improving the reliability of the forecasts of the potable groundwater quality changes and the corresponding reduction in the risks associated with their non-confirmation, can be achieved by carrying out the special hydrogeochemical researches of operated deposits, including isotope researches. On the basis of such studies, a comparison of prediction calculations on the observed data of the results of the exploration and actually observed indicators of the quality of groundwater can be made, and the theoretical and methodical bases of subsoil study and forecasting can be performed.

K e y w o r d s: risks; groundwater discharge; quality; forecast calculations.

Сложность гидрогеоэкологических и гидрогеологических условий эксплуатации и детальность изученности месторождений питьевых подземных вод определяют достоверность прогнозных расчётов расходов, уровней и качества подземных вод. Геоэкологические и экономические риски, связанные с неподтверждением прогнозных расчётов, обычно при оценке запасов подземных вод не рассматриваются.

Теория, методика и практика гидрогеологических количественных расчётов запасов подземных вод достаточно хорошо разработаны и их достоверность, как правило, подтверждается результатами мониторинга подземных вод при эксплуатации.

Достоверность прогнозов изменения качества подземных вод при эксплуатации значительно ниже. На практике все чаще приходится сталкиваться со случаями ухудшения качества подземных вод и неподтверждения достаточно благополучных прогнозных расчётов, выполненных при проведении поисково-оценочных работ. Между тем экономические и геоэкологические риски, связанные с неподтверждением прогнозов сохранения кондиционного качества воды, наиболее высоки. Они приводят к подаче населению некондиционных подземных вод, либо существенным дополнительным затратам на водоподготовку, не предусмотренным при проектировании и строительстве водозаборов или к неоправданному излишнему капиталождению.

Низкая достоверность прогнозирования изменения качества питьевых подземных вод связана с недостаточной разработанностью как теории миграции в условиях взаимодействия вещества в системе вода—порода, без учёта форм миграции различных нормируемых компонентов, так и методики изучения и обоснования необходимых расчётных параметров и других исходных данных, характеризующих качество подземных вод и возможные его изменения [1].

Повышение достоверности прогнозов изменения качества подземных вод и соответствующее снижение рисков, связанных с неподтверждением, может быть достигнуто при проведении комплекса специальных гидрогеохимических, в том числе изотопных, исследований эксплуатируемых месторождений. На базе таких исследований возможно сопоставление данных прогнозных расчётов по результатам разведки и реально наблюдаемых при эксплуатации показателей качества подземных вод и усовершенствованы теоретические и методические основы изучения недр и прогнозирования [1, 4].

Повышение надёжности и достоверности прогнозов не только снизит риски, связанные с неподтверждением прогнозов, но и откроет возможности управления формированием качеством питьевых подземных вод при эксплуатации с помощью применения различных режимов и технологических схем отбора воды.

Рассмотрим последовательно обозначенные проблемы:

изучение качества подземных вод и комплекса факторов, обуславливающих его фоновое и современное состояние и возможные изменения при эксплуатации;

анализ генезиса состава подземных вод, условий взаимодействия в системе вода—порода, трансформации состава поверхностных вод при их фильтрации к водозаборным скважинам, изменения физико-химической обстановки в эксплуатируемых водоносных горизонтах в результате формирования депрессионных воронок, возможности и роли сорбции и десорбции, биодегradации, радиоактивного распада, микродисперсии и других факторов обуславливающих возможное изменение химического состава подземных вод [1, 2];

достоверность и надёжность прогнозирования изменения качества подземных вод при эксплуатации зависит от комплексности изучения качества подземных вод, химического, минерального и литологического состава водовмещающих пород (в том числе, наличия в

них органических и других примесей) и их физико-химических свойств, а также выявленных физико-химических факторов, определяющих возможные изменения их качества при водоотборе для выбора методики прогнозирования и соответствующих технологий его реализации [1];

управление формированием качества подземных вод при эксплуатации с помощью соответствующих технических и технологических решений для его реализации может быть эффективным, если мониторинг состояния подземных вод подтверждает достоверность выполненных прогнозов и достаточность принятых технических и технологических решений для поддержания качества подземных вод в нормируемом состоянии.

Изучение качества подземных вод и основных факторов его формирования является базой получения комплекса необходимой исходной информации для анализа генезиса фоновое, естественного и современного состояния подземных вод, выявления основных факторов, определяющих такое состояние и его возможных изменений [1, 3].

Анализ информации, полученной при ранее выполненных исследованиях, в процессе поисково-разведочных работ и эксплуатации водозаборов позволяет наметить задачи, методику и технологию дальнейших исследований, получения исходных данных для повышения достоверности прогнозирования.

В состав исследований для прогноза изменения качества подземных вод должны входить как химико-аналитические работы по изучению качества подземных вод, так и изучения состава и свойств водовмещающих пород и их условий взаимодействия с подземными водами. Вместе с тем, как правило, даже к изучению физико-химических показателей качества подземных вод подходят формально, только с точки зрения сопоставления нормируемых и определяемых валовых показателей, что приводит к неверной трактовке получаемых результатов.

Для минимизации рисков, связанных с изучением качества подземных вод, при прогнозе их качества необходимо определять формы миграции нормируемых компонентов в подземных водах путем подготовки проб, например, ультрафильтрацией и последующего химического анализа воды. В питьевых подземных водах химические вещества находятся в трёх миграционных формах: 1) ионной; 2) коллоидной; 3) взвешенной (коагулянты коллоидов). Две последние миграционные формы не характеризуют ионный химический состав воды, так как являются твёрдой фазой, но определяются в составе «валового» показателя.

Нормативными документами, регламентирующими качество воды у потребителя (СанПиН 2.1.4.1074-01¹) и в источнике водоснабжения (ГН 2.1.5.1315-03²) норми-

руются только истинно растворённые (ионные) в воде формы миграции химических элементов, а не валовые показатели качества, фигурирующие в протоколах химического анализа воды. В соответствии с ГОСТ 31861-2012³, растворённый химический элемент — это определяемый показатель, проходящий через фильтр с размером пор 0,45 мкм, поэтому перед производством анализа, вода должна быть профильтрована.

Для таких нормируемых СанПиН 2.1.4.1074-01 неорганических ионов с регламентированной степенью окисления, как катионы жесткости ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$), Ba^{2+} , Sr^{2+} , Al^{3+} , Be^{2+} , Zn^{2+} , F^- и другие, а также катионы и анионы элементов с различными степенями окисления (Fe^{2+} , Fe^{3+}), (Mn^{2+} , Mn^{4+}), активированная (анионная) кремнекислота и другие, нормируемые «суммарно», перед выполнением анализа, в соответствии с ГОСТ Р 51232-98⁴, проба воды должна быть профильтрована через фильтр с размером пор 0,45 мкм на месте её отбора. В подавляющем большинстве случаев это требование не выполняется, что приводит к неверным результатам определения этих элементов при химическом анализе воды⁴, особенно при подкислении «мутных» проб воды, когда кислотой растворяются твёрдые минеральные вещества, образующиеся при гидроударах или суффозии в водозаборных скважинах. Часто за «суммарную» концентрацию вещества (химического элемента) в подземной воде принимается его «валовое» содержание, определённое без подготовки проб фильтрацией, что приводит к получению неверных исходных данных при оценке и прогнозе качества питьевых подземных вод и проектировании сооружений по водоподготовке подземных вод и, как следствие, к удорожанию себестоимости питьевой воды. СанПиН 2.1.4.1074-01 устанавливает термин «суммарная концентрация» следующим образом: «элементы и катионы (п. 1 раздела неорганические вещества) нормируются суммарно для всех степеней окисления, если это не указано иначе». Например, для железа и марганца это сумма катионов (Fe^{2+} , Fe^{3+}), (Mn^{2+} , Mn^{4+}), соответственно, их гидролизаты — коллоидные формы миграции (оксигидроксиды) СанПиН 2.1.4.1074-01 не нормируются. Для бария и стронция, нормируются ионы Ba^{2+} , Sr^{2+} , но не нормируются, как биологически инертные, коллоиды малорастворимых в воде сульфатов и карбонатов этих щелочноземельных металлов.

Немаловажным аспектом изучения и оценки качества подземных вод является учёт изменения форм миграции растворённых в воде химических веществ в ходе их разведки и эксплуатации, особенно в карбонатных коллекторах. Уменьшение давления в центре воронки депрессии при отборе воды до атмосферного и повышение температуры воды, относительно пластовых усло-

¹СанПиН 2.1.4.1074-01 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. Гигиенические требования к обеспечению безопасности систем горячего водоснабжения». М., Технонорматив, 2010, 62 с.

²ГН 2.1.5.1315-03 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования». СПб., Нормоиздат, 2016, 154 с.

вий, при подъёме воды на дневную поверхность, приводит к нарушению карбонатного равновесия. В результате дегазации воды образуется коллоидная и взвешенные формы миграции, например, карбоната кальция и магния, иными словами — устранимая жесткость воды, происходит коагуляция фильтра и прифильтрового пространства карбонатом кальция. При формировании воронки депрессии в безнапорных водоносных горизонтах образуется мощная зона аэрации, в пределах которой происходит смена окислительно-восстановительной обстановки на окислительную: окисление сульфидов (в основном гидротроилита — FeS), органических веществ кислородом воздуха. Результатом смены обстановки является увеличение кислотной агрессивности подземных вод за счёт окисления и гидролиза железа и образования угольной кислоты из биогенного и атмосферного CO_2 .

Отдельно следует отметить нормирование качества подземных вод по кремнию. Нормируемой формой миграции кремния в воде должна быть ионная форма кремнекислоты, «активированная кремнекислота» в терминологии СанПиН 2.1.4.1074-01, коллоидная и взвешенная формы не должны нормироваться. Регламентированный ГН 2.1.5.1315-03 «суммарный (общий) кремний» или сумма всех его форм миграции, должен быть отменён или откорректирован, так как нормируемой величиной является концентрация только истинно-растворённых форм его миграции.

Железо (Fe^{2+}) и марганец (Mn^{2+}), часто встречающиеся катионы-загрязнители, в питьевых подземных водах присутствуют лишь в бескислородных, бессероводородных водах, поскольку концентрация этих катионов контролируется либо нерастворимыми в воде оксигидрооксидами Fe^{3+} Mn^{4+} в аэробных условиях, либо сульфидами Fe^{2+} Mn^{2+} , например, гидротроилитом (FeS) в анаэробных. В связи с тем, что большая часть растворенного в воде кислорода атмосферных осадков поглощается почвенным профилем, донными осадками рек и озёр, подземные воды в большинстве случаев испытывают недостаток растворенного в воде кислорода и, как следствие этого, Fe и Mn минералов водовмещающих горных пород (кларковые концентрации) восстанавливаются углеродом органических остатков или нефтепродуктами до водорастворимых форм (Fe^{2+} , Mn^{2+}) [3]. Железо-марганцевые подземные воды образуются всегда, когда нарушен баланс атмосферного кислорода в сторону преобладания восстановителей, который можно регулировать режимом эксплуатации — понижением уровня подземных вод. Исключение составляет глеевая (восстановительная, с восстановлением серы до S^{2-}) обстановка, когда в воронке депрессии происходит окисление вторичных сульфидов железа и марганца [3]. Неправильная оценка баланса окислителей и восстановителей в водовмещающих горных породах влечёт за со-

бой некорректный прогноз изменения концентраций железа (Fe^{2+}) и марганца (Mn^{2+}) на водозаборах, особенно при эксплуатации береговых водозаборов, где недооценивается роль пойменных органогенных отложений и сапропеля (ила) в поглощении кислорода и обогащении подземных вод восстановителями, например, железом (Fe^{2+}) и марганцем (Mn^{2+}). Для прогноза миграции переменновалентных химических элементов (O, N, C, Mn, Fe, S, As, Se, U и др.), мигрирующих в подземных водах в различных степенях окисления, необходимо изучать минераловложения и химический составы, оценивать ёмкостные свойства (сорбционную ёмкость, ёмкость поглощения и состав обменных катионов, окислительно-восстановительную ёмкость, кислотноосновную (буферную) ёмкость) водовмещающих горных пород. Недостаточные исходные данные о химическом составе подземных вод и водовмещающих горных пород часто приводят к неверному прогнозу изменения их качества при разведке и эксплуатации, вследствие недоучёта главных гидрогеохимических процессов [1, 2].

Анализ сводится к оценке достаточности информации по характеристике всех факторов определяющих изменение качества подземных вод при эксплуатации, которые необходимо учитывать в последующих прогнозных расчётах.

Анализ—изучение—прогноз — итерационный процесс, последовательно повторяющийся по мере получения новой информации и оценки достаточности для прогнозирования. На основе разработки и последующего совершенствования модели формирования качества проводится оценка её информационного обеспечения и необходимости его повышения по определенным позициям и показателям.

Несоответствие масштабов и продолжительности возмущения водоносных горизонтов при их эксплуатации и опытно-фильтрационных работах при разведке подземных вод приводит к изменениям окислительно-восстановительных условий в водоносных горизонтах [1]. При длительной эксплуатации подземных вод формируется более мощная зона аэрации, особенно в пределах воронок депрессии, большее количество кислородсодержащих вод вовлекается в водообмен и, как следствие, происходит не только окисление восстановленных форм переменновалентных химических элементов (Fe, Mn, U, S, C, N) в подземных водах, но и окисление минералов водовмещающих горных пород, например, часто встречающегося гидротроилита (FeS) чёрного цвета. Процесс окисления сульфидных минералов и гидролиза железа и марганца ведёт к понижению pH среды, росту концентрации закисного железа, сульфатов, увеличению жесткости воды, вследствие *нейтрализации* и, как правило, к неверным прогнозам возможного уменьшения содержания при эксплуатации [3].

³ГОСТ 31861-2012. «Вода. Общие требования к отбору проб». М.: Стандартинформ, 2013. 31 с.

⁴ГОСТ Р 51232-98 «Вода питьевая. Общие требования к организации и методам контроля качества». М.: Госстандарт России, 1998. 13 с.

Особенно часто имеют место неверные прогнозы уменьшения концентрации железа и марганца, жесткости воды на береговых водозаборах, когда прогнозируется привлечение кислородосодержащих поверхностных вод без учёта восстановительной ёмкости русловых отложений, и как следствие, меньшие концентрации железа (Fe^{2+}) и марганца (Mn^{2+}) в подземных водах наблюдаются при разведке и большие (до порядков) — при эксплуатации.

При этом, если масштаб возмущения на небольших водозаборах при опытных работах можно довести до эксплуатационного, то продолжительность возмущения всегда кратковременна [1]. Именно поэтому важнейшей задачей является изучение и сопоставление данных разведки и эксплуатации, оценка их сходимости и выявление факторов и процессов, неучтенных при прогнозировании по результатам разведки.

Прогноз. Достоверность прогнозирования возможных изменений качества подземных вод определяется не только полнотой исходной информации, но и выбранной методикой и технологией прогнозирования, их теоретической и методологической обоснованностью, соответствием расчётной модели реальным природным условиям, полнотой учёта изменения условий, определяющих состояние подземных вод при эксплуатации [1, 2].

Из многочисленных методов прогнозирования наиболее эффективным считается метод моделирования [4], который при правильном выборе расчётной модели и достаточности её информационного обеспечения может давать вполне приемлемые результаты.

В тоже время необходимо отметить, что в сложных условиях данные длительной эксплуатации и метод аналогий, интегрально учитывающие все факторы, определяющие изменение состава подземных вод, дают весьма надежные результаты [1]. Поэтому еще раз подчеркнем, что только опыт эксплуатации является надёжным инструментом достоверного прогноза. Тем не менее, когда данных для эксплуатационного прогноза по выявленному тренду изменения показателей качества для использования метода аналогии недостаточно, на первое место выходит метод математического моделирования [4].

Проблема оценки рисков при прогнозировании качества подземных вод с применением численных методов моделирования имеет несколько аспектов, которые в целом связаны с недостаточностью и дискретностью (или точечностью) имеющейся информации и проблемами адекватной решаемым задачам схематизации, однако могут и должны решаться различными способами [4].

Математические методы прогнозирования разработаны для достаточного широкого класса задач:

1. **Транспортные модели** [4], учитывающие только направление потоков и баланс смешения подземных вод с различным содержанием показателя, выбранного для прогнозного решения (например, минерализация, жесткость или содержание любого консервативного компонента).

В этих случаях риски и возможность не подтверждения прогнозов связаны с тем, что не учитываются многочисленный набор факторов, которые принципиально могут иметь влияние, соизмеримое с гидродинамическими (обуславливающими транспортным потоком растворённой массы вещества), — сорбцию и десорбцию, ионный обмен с породами и гидрохимическое взаимодействие вод разного качества при их смешении, растворение пород, изменение условий миграции компонентов при изменении окислительно-восстановительной обстановки, рассеяние (дисперсия) вещества за счёт неоднородности самих пород на мезо- и макроуровне.

2. **Миграционные модели** [4], учитывающие рассеяние вещества (дисперсию). Эти задачи возникают при прогнозировании изменения качества подземных вод при аварийных ситуациях, а также при наличии потенциальных точечных источников загрязнения в области влияния водозабора. Существенно возрастает при этом необходимость детальности учёта неоднородности фильтрационных свойств пород в плане и разрезе, так как имеющиеся решения предполагают однородность как фильтрационных параметров, так и параметров рассеяния в пределах выделенных элементов фильтрационной модели (слоёв, полей с заданными постоянными фильтрационными свойствами) [4].

3. **Миграционные модели** [4], учитывающие рассеяние вещества за счёт адсорбции, биodeградации и радиоактивного распада. Они применяются при моделировании как описанных выше задач аварийного загрязнения, так и при рассмотрении продвижения к водозаборах фронтов обширного площадного техногенного или природного загрязнения неконсервативными компонентами (тяжёлые металлы, растворённые нефтепродукты, фенолы и др.). Несмотря на то, что математический аппарат таких моделей хорошо разработан и обычно включён в распространённые пакеты моделирования фильтрации и миграции вещества (Modflow+MT3D (RT3D), Feflow, Geotech и другие) [4], риски при прогнозировании здесь существенно увеличиваются за счёт увеличения числа расчётных параметров, требующих изучения.

Таким образом, основные риски при не подтверждении прогнозов качества при моделировании миграционных процессов состоят в неполном или недостаточном учёте:

дискретности изучения фильтрационной среды и накладывающейся на неё дискретности изучения гидрохимических характеристик и миграционных параметров (пористость, трещиноватость пород, характеристик рассеяния).

возможности неизученности и неучёта процессов рассеяния и взаимодействия растворённого вещества с породами;

увеличения числа действующих факторов и параметров, определяющих прогнозные решения при увеличении сложности нелинейных миграционных процессов;

несоответствием физико-химических условий в процессе разведки и эксплуатации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Б о р е в с к и й Б.В., Г р а б о в н и к о в В.А. Достоверность гидрогеологических прогнозов при оценке эксплуатационных запасов подземных вод. Мифы и реальность // Разведка и охрана недр, 2010. № 10. С. 3–8.
2. Б о р е в с к и й Б.В., Е р ш о в Г.Е., К у в ы к и н а Ю.Ю. Условия формирования эксплуатационных запасов Нижнезымтинского месторождения пресных подземных вод на Черноморском побережье Кавказа и их пространственно-временное изменение под влиянием техногенной нагрузки // Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2012. № 6. С. 503–514.
3. B o r e v s k y B.V., A b r a m o v V.U. Hydrogeological and geocological risks when forecasting the quality of drinking ground water during it USE (study, analysis, forecasting, management) / Материалы междунар. конф. EngGeoPro-2011. Инженерная защита территорий и безопасность населения: роль и задачи геоэкологии, инженерной геологии и изысканий. М., 2011. С. 1436.
4. G o r o k h o v s k i V. Effective Parameters of Hydrogeological Models // Springer Briefs in Earth Sciences. 2012. P. 153.

REFERENCES

1. B o r e v s k y B.V. and G r a b o v n i k o v V.K. The reliability of projections in the hydrogeological assessment of operating of groundwater. *Exploration and protection of the subsoil*, 2010, no. 10, pp. 3–8.
 2. B o r e v s k y B.V., E r s h o v G.E., K u v i k i n a Yu.Yu. Conditions of formation of Russian exploitation reserves derived from resources of Nizhnezymtinskoe deposit of fresh underground waters on the Black Sea coast of the Caucasus and their spatio-temporal change under the influence of technogenic load, *Environmental geology, engineering geology, hydrogeology, geocryology*, 2012, no. 6, pp. 503–514.
 3. B o r e v s k y B.V., A b r a m o v V.U. *Hydrogeological and geocological risks when forecasting the quality of drinking ground water during it USE (study, analysis, forecasting, management)*. М., 2011, pp. 1436.
 4. G o r o k h o v s k i V. *Effective Parameters of Hydrogeological Models*. Springer Briefs in Earth Sciences. 2012, pp. 153.
-