

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ 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

РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

МОСКВА-2018

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ СТАТЕЙ, ПУБЛИКУЕМЫХ В ЖУРНАЛЕ

В журнале «Известия высших учебных заведений. Геология и разведка», 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 полях 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, повторяющийся 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_kirillovmetrec_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, 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)**

Сдано в набор 15.01.2018.
Бумага офсет. № 1
Уч.-изд л. 10,00.

Подписано в печать 15.02.2018.
Гарнитура Таймс
Тираж 200 экз.

Формат 60 90/8.
Усл. печ. л. 10,00.
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://www.mgri-rggru.ru/>

© Оформление «Изв. вузов. Геология и разведка», 2018

ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ
ГЕОЛОГИЯ И РАЗВЕДКА
2018, № 1

СОДЕРЖАНИЕ

Геология

- Садовников Г.Н. Роль экостратонов в построении стратиграфических шкал 5
- Хузина И.Р., Комаров В.Н. Ринхолиты и проблема широкого и узкого понимания таксонов 12
- Голионко Б.Г., Рязанцев А.В. Деформации и последовательность формирования структур северной части области развития максютовского метаморфического комплекса (Южный Урал) 17

Минералогия, петрография, литология

- Скублов С.Г., Красоткина А.О., Макеев А.Б., Галанкина О.Л., Мельник А.Е. Уникальная находка преобразования циркона в бадделеит (рудопроявление Ичетью, Средний Тиман) 27

Гидрогеология и инженерная геология

- Малков А.В., Першин И.М., Помеляйко И.С. Методика оценки параметров водоносных горизонтов по данным опытно-фильтрационных работ в условиях гидравлической связи 36

- Вьет Лам Хоанг Куок, Лисенков А.Б., Лаврушин В.Ю. Условия формирования подземных вод в дельте Меконга (Вьетнам) по данным изучения изотопного состава кислорода и водорода 42

Геоэкология

- Житинская О.М., Ярг Л.А. Изменение компонентов природной среды при длительной разработке месторождений открытым способом (на примере КМА) 49

Дискуссии

- Рачинский М.З. К вопросу нефтегазоносности сверхглубоких объектов стратисферы 62

Из истории науки

- Стародубцева И.А. А.Б. Миссуна: тематика научных работ и их итоги 68

Краткие сообщения

- Петроченков Д.А. Коллекционные и ювелирные касситериты месторождения Иультин 76

IZVESTIYA VYSSHIKH UCHEBNYKH ZAVEDENIY
GEOLOGIYA I RAZVEDKA
2018, N 1

CONTENTS

Geology	
Sadovnikov G.N. The role of eco-geological units (eco-stratons) in the construction of stratigraphic scales	5
Khuzina I.R., Komarov V.N. Rhyncholites and the problem of narrow and broad conception of taxons	12
Golionko B.G., Ryazantsev A.V. Deformations and the sequence of the structures formation in the northern part of the zone of development of Maksutovo metamorphic complex (Southern Urals)	17
Mineralogy, petrography, lithology	
Skublov S.G., Krasotkina A.O., Makeyev A.B., Galan-kina O.L., Melnik A.E. A unique finding of zircon into bad-deleyite transformation (the Ichetju ore occurrence, the Middle Timan)	27
Hydrogeology and engineering geology	
Malkov A.V., Pershin I.M., Pomelyayko I.S. A method of estimation the parameters of the aquifers based on the data of testing filtration works under conditions of hydraulic coupling	36
Geoecology	
Viet Lam Hoang Quoc, Lisenkov A.B., Lavrushin V.J. Formation conditions of groundwater in the Mekong Delta (Vietnam) based on isotopes research of oxygen and hydrogen in water	43
Zhitinskaya O.M., Yarg L.A. Changes in the components of the natural environment with the long-term development in the opencast mines (the case of KMA)	49
Discussions	
Rachinsky M.Z. About oil and gas occurrences of stratospheric superdeep objects	62
From the history of science	
Starodubtseva I.A. A.B. Missuna: Subjects of scientific research and its results	68
Brief reports	
Petrochenkov D.A. Collection and jewellery cassiterites of the Iultin deposit	76

ГЕОЛОГИЯ

УДК 551.7.033

РОЛЬ ЭКОСТРАТОНОВ В ПОСТРОЕНИИ СТРАТИГРАФИЧЕСКИХ ШКАЛ

Г.Н. САДОВНИКОВ

*Российский государственный геологоразведочный университет
23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия
e-mail: sadovnikov.gennady@yandex.ru*

Построение стратиграфических шкал, основанных на выделении этапов развития всего биома бассейна осадконакопления, разработали: Н.И. Андрусов — для Понто-Каспийского неогена, А.П. Иванов — для карбона Центральной России, Р.Ф. Геккер — для девона Центральной России и палеогена Ферганы. Палеозоологи использовали этот путь очень редко; палеоботаники, наоборот, шли именно этим путём. Важнейшим достижением явилось создание стратиграфической схемы карбона—перми Кузбасса, вскоре распространённой на весь северный умеренный пояс Земли: от Печоры до Дальнего Востока, от Таймыра до Монголии. На основе горизонтов схемы можно выделить экостратоны. В неморских отложениях карбона—юры севера и центра Евразии выделено 13 экостратонов. Экозоны (*Elatocladus linearis* ... *Cornia vosini*, *Quadrocladus pachyphyllum* ... *Echinolimnadia mattoxi* и *Quadrocladus pachyphyllum* ... *Prilukiella* (?) *tomiensis*) описаны в соответствии с требованиями Стратиграфического кодекса. Объём экостратонов обычно составляет один — два отдела, но в верхней перми и нижнем триасе — часть яруса. Это отражает неравномерность темпов исторического развития организмов. В Стратиграфическом кодексе России имеется только экозона, которая рассматривается как местный или провинциальный биостратон. Но экостратоны могут быть региональными и планетарными. Совокупность региональных экостратиграфических шкал образует полный вариант стратиграфической шкалы Земли. То, что называется сейчас «общей шкалой» — это упрощённый вариант полного.

К л ю ч е в ы е с л о в а: время Ньютона; время Эйнштейна; экозона; региональные, местные экостратоны.

THE ROLE OF ECO-GEOLOGICAL UNITS (ECO-STRATONS)
IN THE CONSTRUCTION OF STRATIGRAPHIC SCALES

G.N. SADOVNIKOV

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

Alternative, fit in with the ideas of Einstein, it is to construct a stratigraphic scales based on the stages of development of the entire biome of a sedimentation basin. N. Andrussov has developed such a scheme for the Ponto-Caspian Neogene, A. Ivanov — for Carboniferous of Central Russia, R. Hecker for Devonian of Central Russia and Paleogene of the Fergana. Paleozoologists used this method very rarely. Paleobotanists, on the contrary, went namely this way. The most important achievement was the establishment of the stratigraphic scheme of the Carboniferous — Permian of the Kuznetsk basin, which was soon extended to the entire North temperate zone of the Earth: from Pechora river to the Far East, and from Taimyr peninsula to Mongolia. Based on the horizons of this scheme eco-geological units

(stratons) can be distinguished. In non-marine deposits of Carboniferous — Jurassic of Northern and Central Eurasia, 13 eco-stratons have been selected. Ecozones *Elatocladus linearis* ... *Cornia vosini*, *Quadrocladus pachyphyllum* ... *Echinolimnadia mattoxi* and *Quadrocladus pachyphyllum* ... *Prilukiella* (?) *tomiensis* are described in accordance with the requirements of the Russian Stratigraphic Code. The volume of eco-zones usually comprises one or two series. But in the upper Permian and lower Triassic it is a part of the stage. This reflects the uneven pace of the historical development of the organisms. In the Stratigraphic code of Russia ecozone is considered as a local or provincial biostraton. But eco-stratons can be regional and planetary. A set of the regional eco-stratigraphic scales forms a complete variant of the stratigraphic scale of the Earth. What is now called a General scale, it is a simplified version of it.

К е y w o r d s: time of Newton, time of Einstein; ecozone; regional, planetary eco-stratons.

Общая стратиграфическая шкала построена на ньютоновской концепции абсолютного времени. Иного и быть не могло, поскольку ко времени появления теории относительности шкала в основных чертах была уже создана. Но сейчас, оперируя со временем, не считаться с взглядами А. Эйнштейна уже неправомерно. Однако принятая и активно реализуемая норма обязательности изотопного датирования границ ярусов следует в прежнем направлении. Между тем, по А. Эйнштейну, времени вне системы нет. Момент времени существует только в точке. Понятие «то же самое время» для разных систем физически бессмысленно [30].

В российской стратиграфии родилась и развивалась альтернатива, не противоречащая представлениям А. Эйнштейна, а вписывающаяся в них. Суть её — стратиграфические шкалы, основанные на выделении этапов развития всего биома бассейна осадконакопления. Первую такую схему разработал Н.И. Андрусов (рисунок) [2] для Понто-Каспийского неогена. А.П. Иванов [12, 13] таким же образом создал стратиграфию карбона Центральной России. Эти схемы были региональными, но А.А. Борисьяк (рисунок) [4], анализируя эволюцию органического мира в целом, указывал: «... сравнительное изучение последовательных ... фаун рисует эволюцию животного мира с большей наглядностью и ... большей доказательностью, чем это дают отдельные, хотя бы и детально построенные ветви различных групп животных». Блестящие работы Р.Ф. Геккера (рисунок) и его сотрудников по девону Главного девонского поля [5] и палеогену Ферганы [7] продолжили эту линию. Но, если Андрусов и Иванов создавали стратиграфию только по сменам фауны, то в работах группы Р.Ф. Геккера стратоны включали палеоэкологическую информацию, т. е. были уже тем, что затем назовут экозонами. Р.Ф. Геккер позднее укажет: «... очень важно сперва выяснить закономерную смену фаций и их бентоса в пространстве и во времени, и только после этого надежно коррелировать отложения» [6].

Несмотря на призывы В.В. Меннера (рисунок) [17], палеозоологи использовали этот путь очень редко [10, 11, 39, 40]. Палеоботаники, наоборот, следуя за А.Н. Криштофовичем (рисунок) [15], в большей или меньшей степени шли именно этим путём. Важнейшим достижением явилось создание

региональной стратиграфической схемы карбона и перми Кузбасса, которая оказалась применимой на гораздо более широких территориях: от Печоры до Дальнего Востока и от Таймыра до Монголии. Это коллективный труд нескольких поколений палеонтологов и стратиграфов [1, 18, 19]. Представляется, что наиболее значимый вклад в его создание внесли М.Ф. Нейбург [16] и С.Г. Горелова [3, 9]. Схема охватывает почти весь северный умеренный пояс Земли. Следовательно, она может считаться не региональной, а планетарной. Палеонтологический материал, который вложен в неё, вполне достаточен для выделения экостратонов на основе горизонтов схемы [22, 25, 37].

Сейчас в неморских отложениях карбона—юры севера и центра Евразии выделено 13 экостратонов [24, табл. 1]. Все они при выделении были названы экозонами, поскольку только этот экостратон предусмотрен Стратиграфическим кодексом России [41]. Он рассматривается, как разновидность комплексной зоны — одного из видов биостратиграфической зоны. В двух экозонах выделены подразделения, отвечающие горному, равнинному и приморскому уровням седиментации [28, 31]. Последние названы ценозонами. Однако автор термина «экозона» В.А. Красилов [14] считал ценозону синонимом комплексной зоны, а экозону — частью ценозоны, отражающей вертикальную миграцию гипсометрического уровня обитания.

Объём установленных экостратонов различен. В карбоне, нижней и средней перми, среднем и верхнем триасе, нижней и средней юре он составляет один или даже два отдела, в верхней перми и нижнем триасе — часть яруса. Это, с одной стороны, в очередной раз подтверждает неравномерность темпов исторического развития разных групп организмов. А. А. Борисьяк писал: «... фауны отдельных периодов, *взятые в целом*, связаны между собой постепенными переходами, но только в некоторые эпохи он совершается быстрее, в другие как бы замедляется, как и в общем потоке его отдельные части движутся неравномерно, отдельные группы то обгоняют друг друга, то останавливаются, оттираемые другими, или даже совсем вымирают.» [4]. Позднее на это указывали многие исследователи [15, 21]. С другой стороны, из неравнозначности экостратонов следует необходимость их ранжирования. Предложено [35] использовать название «экозона» для экостратонов менее яруса,



а



б



в



г



д



е



ж

- а* — Николай Иванович Андрусов (1861—1924 гг.)
б — Алексей Алексеевич Борисяк (1872—1944 гг.)
в — Роман Федорович Геккер (1900—1991 гг.)
г — Владимир Васильевич Меннер (1905—1989 гг.)
д — Африкан Николаевич Криштофович (1885—1953 гг.)
е — Мария Фридриховна Нейбург (1894—1962 гг.)
ж — Сусанна Георгиевна Горелова (1920—1994 гг.)

Каменноугольные—юрские неморские экостратоны Северной Евразии

Индекс отдела	Ярус	Год установ- ления	Год описа- ния	Название экостратона	Ранг экостратона	Название ценозоны	Высотный уровень
J ₂		2005	(2018?)	<i>Pityophyllum longifolium</i> ... <i>Ludwigia (Ludwigella) rudis</i>	Экосерия		Равнинный
J ₁			(2018?)	<i>Pityophyllum longifolium</i> ... <i>Phymatoceras</i>	Экосерия		Равнинный
T ₃	Рэтский	(1980)		<i>Yuccites uralensis</i> ... <i>Neocalamites hoerensis</i>	Региоюрс		Равнинный
	Норийский Карнийский						
T ₂		2002		<i>Borystenia</i> sp. ... <i>Anodontophora fassaensis</i>	Экосерия		Равнинный
	Оленекский						
T ₁	Индский (возможно, только верхняя часть — зона Otoceras boreale)	2000		(<i>Ferganiella</i>) ... <i>Cornia vosini</i>	Экосерия		Приморский
P ₃ (или T ₁)	Таймырский (верхняя часть) или индский (нижняя часть, зона Otoceras conspicuum?)	2002	2014	<i>Elatocladus linearis</i> ... <i>Cornia vosini</i>	Экозона	<i>Elatocladus linearis</i> ... <i>Falsisca turaica</i> ?	Горный
						<i>Quadrocladus pachyphyllus</i> * ... <i>Falsisca turaica</i>	Равнинный
						<i>Lepidopteris arcica</i> ... <i>Cornia vosini</i>	Приморский

P ₃	Таймырский (нижняя часть)	2003	2014	<i>Quadrocladus pachyphyllus</i> * ... <i>Echinolimmadia mattoxi</i>	Экозона	<i>Quadrocladus pachyphyllus</i> * ... <i>Megasitum volgaense</i>	Равнинный?
	Вятский**	2003	2014	<i>Quadrocladus pachyphyllus</i> * ... <i>Prilukiella (?) tomiensis</i>	Экозона	<i>Voltzia (?) avamica</i> ... <i>Bipemphigus gemisi</i>	Горный
						<i>Quadrocladus dvinensis</i> ... <i>Prilukiella (?) tomiensis</i>	Низинный
		2003		<i>Cordaites clercii</i> ... <i>Concinella concinna curta</i>	Экозона		Равнинный
P ₂	Вишкельский**	2017		<i>Cordaites candalepensis</i> ... <i>Phyllothea turnaensis</i>	Регионарус		Равнинный
	Уржумский	2000		<i>Rufioria brevifolia</i> ... <i>Phyllothea turnaensis</i>	Экосерия		Равнинный
P ₁		2000		<i>Cordaites latifolius</i> ... <i>Viatscheslavita vorcutensis</i>	Экосерия	<i>Cordaites latifolius</i> ... <i>Paracalamites vicinalis</i>	Равнинный
						<i>Phylladoderma arberi</i> ... <i>Viatscheslavita vorcutensis</i>	Низинный
C ₂₋₃		2004		<i>Rufioria subangusta</i> ... <i>Angarodendron obrutchevii</i>	Экосерия		Равнинный
C ₁		2000		<i>Angaropteridium cardiopteroides</i> ... <i>Tomiodendron prokopiensis</i>	Экосерия		Равнинный

Примечание. * При выделении и описании экзон в окончании видового названия была допущена ошибка: должно быть не *pachyphyllum*, а *pachyphyllus*.

** А.В. Гоманьков [8] пришел к выводу, что в Сибири граница вишкельского и вятского ярусов соответствует подошве гатареостровского горизонта, а не его кровле, как считалось ранее. Условно принимая это, автор полагает, что вопрос требует дополнительного анализа.

экостратоны, примерно равные ярусу, называть экоярусами, экостратоны, примерно равные отделу и более крупные, — экосериями. Экостратон может включать звенья, соответствующие горному, равнинному, низинному и приморскому уровням осадконакопления, стоячим и проточным бассейнам суши, прибрежному, одному или нескольким донным уровням шельфа, нектонное и планктонное звенья экостелы [6, 42]. Такая совокупность звеньев в определённой мере аналогична катене, но является более крупной и может быть названа мегакатеной [35]. В пределах экостратона на каждом звене мегакатены может находиться несколько пространственно обособленных частей. Для каждого уровня аккумулятивной суши может быть построена катена, включающая древесный ярус, подлесок, травянистый покров склонов, травянистый покров низин, стоячие и проточные бассейны. Названия экостратонов предложено образовывать из названий доминант крайних членов катены, разделённых многоточием.

Большая часть экостратонов только обозначена или описана кратко [20, 21, 31—37]. Пока лишь три экозоны (*Elatocladus linearis* ... *Cornia vosini*, *Quadrocladus pachyphyllum* ... *Echinolimnadia mattoxi* и *Quadrocladus pachyphyllum* ... *Prilukiella* (?) *tomiensis*) описаны в соответствии с требованиями Стратиграфического кодекса России [26, 27, 29]. При описании экозон использована предложенная автором методика доминант-анализа [23]. Суть её в следующем. Устанавливают виды, которые являются доминантами сообществ. Если доминанты встречаются лишь в одном — двух захоронениях (редкие), то они не учитываются. Остальные (устойчивые) доминанты распределяются по звеньям катены с учетом современного распрост-

ранения аналогичных или близких групп организмов.

Сказанное позволяет считать, что значимость экозоны и вообще экостратонов занижена. Экостратоны могут быть не только местными, но и региональными и планетарными. Их можно использовать для межрегиональной корреляции и построения региональных и общей шкал. Именно экостратоны, являясь единицами комплексного обоснования, должны быть включены в основные стратоны. Напротив, зона и ярус, выделяющиеся исключительно по биостратиграфическим критериям, должны быть перенесены в биостратоны. Наконец, весьма существенно, что именно региональные шкалы, состоящие из экостратонов, отражают реально существующее в природе время (Эйнштейна), а не построенное (Ньютона). Именно совокупность региональных шкал представляет собой полный и главный вариант шкалы земного времени. То, что называется общей шкалой сейчас — это необходимый, но упрощённый промежуточный её вариант.

Представляется, что в Стратиграфический кодекс России нужно внести следующие изменения. В главе II «Классификация стратиграфических подразделений» ввести рубрику «Экостратиграфические подразделения», поместив её либо в основные, либо в специальные стратиграфические подразделения, либо между ними в качестве самостоятельной рубрики. Структура главы (или раздела) должна быть примерно такой же, как в главе «Магнитостратиграфические подразделения» (определение; общие, региональные, местные экостратиграфические подразделения; правила описания и наименования). Из главы «Биостратиграфические подразделения» следует исключить экозону (статья VII.4) и внести коррективы в текст.

ЛИТЕРАТУРА

1. Андреева Е.М., Мандельштам М.О., Радченко Г.П. и др. Атлас руководящих форм ископаемых фауны и флоры пермских отложений Кузнецкого бассейна. М.: Госгеолтехиздат. 1956. 412 с.
2. Андрусов Н.И. Взаимоотношения Эвксинского и Каспийского бассейнов в неогеновую эпоху // Известия АН. 1919. №8.
3. Бетехтина О.А., Горелова С.Г., Дрягина Л.Л., Данилов В.И., Батяева С.П., Токарева П.А. Верхний палеозой Ангарида. Фауна и флора // Тр. ин-та геол. и геофизики СО АН СССР. 1988. Вып. 707. 265 с.
4. Борисьяк А.А. Курс палеонтологии. Ч. 3. Палеофаунистика и руководящие ископаемые. Вып. 1. Палеофаунистика. Петроград: Изд-во Сабашниковых, 1919. VII+64 с.
5. Геккер Р.Ф. Отложения, фауна и флора Главного девонского поля // Фауна Главного девонского поля. Т.1. М.: изд-во АН СССР. 1941.
6. Геккер Р.Ф. Приветственное письмо участникам XXXII сессии ВПО «Две ноги» // Тр. XLIX сесс. Всесоюз. Палеонтол. о-ва. Таллинн, 1991. С.189—190.
7. Геккер Р.Ф., Осипова А.И., Бельская Т.И. Ферганский залив палеогенового моря, история его развития, осадки, фауна и флора и условия ее обитания // Бюлл. МОИП. Отд. геол. 1952. Т. 27.
8. Гоманьков А.В. О распространении кордаитов в верхнепермских отложениях Восточно-Европейской платформы // Топорковские чтения. Вып. 7. Т. 1. Рудный: Рудненский индустриальный институт, 2006. С. 389—401.
9. Горелова С.Г., Меньшикова Л.В., Халфин Л.Л. Фитостратиграфия и определитель растений верхнепалеозойских угленосных отложений Кузнецкого бассейна // Тр. Сибирского НИИ геологии, геофизики и минерального сырья. Вып. 140. Кемерово, 1973. 288 с.
10. Жемчужников Ю.А. Курс палеофаунистики. Л.-М., Грозный, Новосибирск: Гос. научно-техническое горно-геолого-нефтяное издательство, 1934. 292 с.
11. Жерихин В.В. Ландшафтная палеоэкология и биостратиграфия континентальных отложений // Тез. докл. II сессии Всесоюз. Палеонтол. о-ва. Иркутск, 1986. С. 80—82.
12. Иванов А.П. Средне- и верхнекаменноугольные отложения Московской губернии // Бюлл. МОИП. Отд. геол. Т. 4. 1926. Вып. 1, 2.
13. Иванов А.П. Нижнекаменноугольные отложения Московской губернии // Бюлл. МОИП. Отд. геол. Т. 5. 1927. Вып. 1.
14. Красилов В.А. Палеоэкосистемы // Изв. АН СССР. Сер. Геол. 1970. № 4. С. 144—150.
15. Криштофович А.Н. Эволюция растительного покрова в геологическом прошлом и её основные факторы // Материалы по истории флоры и растительности СССР. Вып. 2. Л.: Изд-во АН СССР. 1946. С. 21—86.

16. Нейбург М.Ф. Верхнепалеозойская флора Кузнецкого бассейна // Палеонтология СССР. Т. 12, ч. 3. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1948. 342 с.
17. Меннер В.В. Биостратиграфические основы сопоставления морских, лагунных и континентальных свит // Тр. геол. ин-та АН СССР. Вып. 65. 1962. 375 с.
18. Решения Всесоюзного стратиграфического совещания по докембрию, палеозою и четвертичной системе Средней Сибири, Новосибирск, 1979 г. Ч. 2. Средний и верхний палеозой. Новосибирск, 1982. 129 с.
19. Решения межведомственного регионального совещания по разработке унифицированных стратиграфических схем Сибири. М.: Гостоптехиздат, 1959. 91 с.
20. Ромащенко С.Н. Палеоэкосистемы позднего палеозоя востока Тунгусской синеклизы // Современная российская палеонтология: классические и новейшие методы. Тезисы Первой всероссийской научной школы молодых ученых-палеонтологов. М.: Палеонтол. ин-т РАН, 2004. С. 59–60.
21. Садовников Г.Н. Сравнительное значение фаунистических и флористических данных в геохронологии // Бюлл. МОИП. Отд. геол. 1983. Т. 58. Вып. 2. С. 43–54.
22. Садовников Г.Н. Типы и структура экосистем // Сб. памяти В.А. Вахрамеева. М.: ГЕОС, 2002. С. 131–132.
23. Садовников Г.Н. К методике полуколичественного и количественного анализа неморских палеоэкосистем палеозоя и мезозоя // Палеонтол. журн. 2011. № 1. С. 97–104. DOI: 10.1134/S003103011101014X.
24. Садовников Г.Н. Экосистемы неморских отложений вишкельского — индского ярусов Средней Сибири // Палеоботанический временник. Приложение к журналу «Lethaea rossica». Вып. 1. ГЕОС, 2013. С. 70–73.
25. Садовников Г.Н. Неморские экосистемы карбона, перми, триаса и юры севера и центра Евразии // Изв. вузов. Геология и разведка. 2013. № 6. С. 91–94. Georef Record ID 0678338012.
26. Садовников Г.Н. Экосистема *Elatocladus linearis* ... *Cornia vosini* верхней перми // Изв. вузов. Геология и разведка. 2014. № 1. С. 5–10. Georef Record ID 0678348001.
27. Садовников Г.Н. Экосистема *Quadrocladus pachyphyllum* ... *Echinolimnadia mattoxi* в пермо-трасовых вулканитах Средней Сибири // Изв. вузов. Геология и разведка. 2014. № 3. С. 5–11. Georef Record ID 0678416001.
28. Садовников Г.Н. Структура экосистемы *Elatocladus linearis* ... *Cornia vosini* верхней перми в Средней Сибири // Изв. вузов. Геология и разведка. 2014. № 4. С. 5–11. Georef Record ID 0678517001.
29. Садовников Г.Н. Экосистема *Quadrocladus pachyphyllum* ... *Prilukiella tomiensis* вятского яруса верхней перми // Изв. вузов. Геология и разведка. 2014. № 6. С. 6–12. Georef Record ID 0697943001.
30. Садовников Г.Н. Геологическое время — время Ньютона или время Эйнштейна? // XI Международная конференция «Новые идеи в науках о Земле». Доклады. Т. 1. М., 2015. С. 29 (33).
31. Садовников Г.Н. Структура экосистемы *Quadrocladus pachyphyllum* ... *Prilukiella tomiensis* вятского яруса верхней перми // Изв. вузов. Геология и разведка. 2015. № 4. С. 8–14. Georef Record ID 0697826001.
32. Садовников Г.Н. Роль экостратонов в построении стратиграфических шкал // Общая стратиграфическая шкала и методические проблемы разработки региональных стратиграфических шкал России. Материалы Межведомственного рабочего совещания Санкт-Петербург, 17–20 октября 2016 г. СПб.: Изд. ВСЕГЕИ 2016 С. 146–148.
33. Садовников Г.Н. Экосистемы угленосных отложений палеозоя и мезозоя Северной и Центральной Азии // Четвертая Всероссийская конференция «Верхний палеозой России» Планетарные системы верхнего палеозоя: биостратиграфия, геохронология и углеводородные ресурсы. 19–23 сентября 2017, Казань, Россия. Тезисы докладов. С. 167–168.
34. Садовников Г.Н. Эволюция растительности и фауны беспозвоночных севера Средней Сибири и сопредельных областей в конце перми и начале триаса // Изв. вузов. Геология и разведка. 2017 № 6. С. 5–15.
35. Садовников Г.Н., Базаркина Е.А., Турлова М.А. Экосистема *Dzergalanella merianii* ... *Borysthenia* // Проблемы биохронологии в палеонтологии и геологии. Тезисы докладов XLVIII сессии Палеонтол. общества. СПб, 2002. С. 124–125.
36. Садовников Г.Н., Комаров В.Н. Экосистемы триаса и юры хребта Эльбурс (Иран) // XIII Международная конференция «Новые идеи в науках о Земле». Доклады. Т. 1. М., 2017. С. 20–21.
37. Садовников Г.Н., Турлова М.А. Юрские растительные сообщества Северного Ирана // Современные проблемы палеофлористики, палеофитогеографии и флористратиграфии. Тезисы докладов VII Международной палеоботанической конференции. М.: ГЕОС. 2005. С. 41–43.
38. Садовников Г.Н., Ромащенко С.Н. Стратиграфия, палеоэкосистемы и угленосность позднего палеозоя востока Тунгусской синеклизы // Научные чтения памяти проф. М.В. Муратова. Материалы совещания. М.: МГРУ. 2004. С. 53.
39. Сорокин В.С. этапы развития северо-запада русской платформы во франком веке. Рига: Всесоюз. науч.-исслед. ин-т мор. геологии, 1978. 282с.
40. Сорокин В.С. Сопоставление разнофациальных отложений историко-геологическими методами // Доклады 27 Межд. геол. конгресса, секция С. 01. Т. 1. 1984. С. 100–110.
41. Стратиграфический кодекс России. Межведомственный стратиграфический комитет России. СПб.: ВСЕГЕИ, 2006. 96 с.
42. Astafieva M.M., Rozanov A.Yu., Sadovnikov G.N., Sapova E.V. Fossil Bacteria from the Permotriassic trappean strata of Siberia // Paleontol. Journ. 2009. Vol. 43 No. 8. P. 46–54. DOI: 10.1134/S0031030109080085.

РИНХОЛИТЫ И ПРОБЛЕМА ШИРОКОГО И УЗКОГО ПОНИМАНИЯ ТАКСОНОВ

И.Р. ХУЗИНА, В.Н. КОМАРОВ

*Российский государственный геологоразведочный университет
23, Миклухо-Маклая ул., Москва 117997, Россия
e-mail: komarovmgri@mail.ru*

Рассмотрена основанная на концепции широкого понимания таксонов точка зрения, согласно которой ринхолиты подродов *Dentatobeccus* и *Microbeccus* принимаются в качестве синонимов рода *Rhynchoteuthis*, а подрод *Romanovichella* считается синонимом рода *Palaeoteuthis*. Проанализированы оказывающие влияние на различные подходы к построению классификации ринхолитов критерии (возрастная и индивидуальная изменчивость, половой диморфизм, патологические и тератологические особенности, степень выветривания материала), недооценка которых может привести к неточностям. Отмечено, что лишение обладающих очень яркими морфологическими отличиями подродов *Dentatobeccus*, *Microbeccus* и *Romanovichella* самостоятельного статуса и отнесение их к синонимам представляется неоправданным. Сделан вывод о том, что искусственная система (какой бы конкретный её вариант не был бы предложен) со всеми её минусами, является для ринхолитов единственно возможной. Основным критерием, позволяющим минимизировать её отрицательные стороны и обосновать выделение нового таксона, следует признать только имеющийся массовый материал. Подчёркнуто, что применяемое в разумных пределах узкое понимание вида значительно облегчает проблему передачи представления о виде другим исследователям и распознавание ринхолитов для решения практических задач.

К л ю ч е в ы е с л о в а: ринхолиты; классификация; широкое и узкое понимание таксонов.

RHYNCHOLITES AND THE PROBLEM OF NARROW AND BROAD CONCEPTION OF TAXONS

I.R. KHUZINA, V.N. KOMAROV

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

The paper considers a point of view, based on the conception of the broad understanding of taxons. According to this point of view, rhyncholites of the subgenus *Dentatobeccus* and *Microbeccus* are accepted to be synonymous with the genus *Rhynchoteuthis*, and subgenus *Romanovichella* is considered to be synonymous with the genus *Palaeoteuthis*. The criteria, exercising influence on the different approaches to the classification of rhyncholites, have been analyzed (such as age and individual variability, sexual dimorphism, pathological and teratological features, degree of disintegration of material), underestimation of which can lead to inaccuracy. Divestment of the subgenera *Dentatobeccus*, *Microbeccus* and *Romanovichella*, possessing very bright morphological characteristics, to have an independent status and denomination to their synonyms, has been noted to be unjustified. An artificial system (any suggested variant) with all its minuses is a single probable system for rhyncholites. The main criteria, minimizing its negative sides and proving the separation of the new taxon, is an available mass-scale material. The narrow understanding of the genus, used in sensible limits, has been underlined to simplify the problem of the passing the view about the genus to the other investigators and recognition of rhyncholites for the practical tasks.

Key words: rhyncholites; classification; narrow and bright understanding of taxons.

В течение длительного времени главной формой корреляции, связанной с применением палеонтологических данных, было сопоставление разрезов на основе метода руководящих ископаемых. В комплексе окаменелостей, типичном для конкретного стратона, отдавалось предпочтение одной

или несколькими наиболее характерным формам. Впоследствии они становились индикаторами данного стратона при идентификации его в других регионах.

Понятие о руководящих формах исторически сложилось на фактическом материале из Западной

Европы. Многие виды исследовались поверхностно, без выяснения их изменчивости, фациальной приуроченности и образа жизни. Именно отсутствие глубокого изучения имевшегося материала и недостаточность сведений об ископаемых остатках с огромных, ещё плохо изученных областей обусловили в то время очень широкое понимание объёма вида. Многие родственные, а часто и не родственные, но имеющие большое внешнее сходство виды, без злого умысла принимались за один, что обеспечивало определённое практическое удобство, так как в общих чертах позволяло датировать и сопоставлять отложения на значительно удалённых одна от другой территориях. Применение метода руководящих ископаемых с его широким пониманием вида не только обусловило крупнейшие успехи стратиграфии и появление биостратиграфии, но и дало большой толчок к изучению палеонтологического материала и созданию крупных монографий, посвящённых главным образом беспозвоночным.

Позднее, во второй половине XIX в. науки биологического цикла, в том числе и палеонтология, испытали необычайный расцвет. Подавляющее большинство биологов и палеонтологов занимались почти исключительно систематикой. Их трудами был накоплен колоссальный фактический материал, который послужил основой для создания классификационных схем для различных ископаемых организмов. В процессе более углублённого изучения многих групп выяснилась их явная гетерогенность, а следовательно, и необходимость разделения на генетически однородные части не только крупных систематических единиц, но и родов, а главное видов, понимавшихся слишком широко. Многие учёные стали убеждёнными сторонниками узкого понимания систематических единиц. Обширные ареалы распространения прежних, широко понимаемых видов, распались на ряд ареалов, выделенных из них новых, более узко понимаемых видов. Выполненная ранее корреляция переосмысливалась, так как между изученными разрезами были вскрыты более сложные, чем считалось ранее, стратиграфические взаимоотношения.

Следует отметить, что впоследствии переоценка систематического значения индивидуальных уклонов при отсутствии их глубокого анализа привела к гипертрофированному дроблению видов, к установлению множества вариететов и других единиц внутривидового значения. Некоторые палеонтологи почти вплотную подошли «к необходимости давать название каждому экземпляру вида с малочисленной популяцией» [6, с. 60].

Проблема широкого и узкого понимания видов в полной мере коснулась и ринхолитов. Данные ископаемые представляют собой типичную партаксономическую группу. Лишь род *Rhyncholites* объединяет формы, сравнимые с такого же рода обра-

зованием в верхней челюсти современного наутилуса. Систематика остальных ринхолитов искусственная и основана на функционально-экологическом подходе [7], так как точная принадлежность ринхолитов к конкретным видам головоногих моллюсков почти не известна.

Искусственная система ринхолитов вынужденно строится на отдельно взятых, обычно наиболее выразительных, легко уловимых признаках морфологического сходства и различия. При этом не учитывается их изменчивость в онтогенезе и филогенезе. Не следует также забывать и то, что «дефекты» материала ограничивают и возможности полноценных морфологических работ, так как ринхолиты демонстрируют отчётливый морфологический минимализм. Специалисты поставлены перед необходимостью использовать диагностические признаки — «самые яркие и обычно самые поверхностные и несущественные» [6, с. 59]. В основу выделения видов у ринхолитов традиционно положены детали строения капюшона, выступавшего из роговой челюсти, и рукоятки, «крепившей» ринхолит к челюсти, а также пропорции разных частей ринхолита. Таксономическое значение указанных признаков субъективно, а оценка сходства и различия форм носит во многом интуитивный характер. Основой систематики ринхолитов остаётся голотип — типичный экземпляр. Вид и другие систематические категории представляются как группа особей, тождественных голотипу. При этом понятно, что голотип не может отражать серию непрерывно меняющихся под воздействием окружающей среды особей. Близкие виды, иногда существенно отличаясь один от другого, всё же имеют и черты сходства, позволяющие объединять их в группы. Такие ассоциации видов, имеющие отчётливые общие морфологические особенности, называются под родами. Не следует забывать, что для ринхолитов подрод является искусственной группой, по всей видимости, объединяющей виды различного происхождения, но обладающие параллельно возникшими сходными адаптивными чертами.

В последние годы появились данные о том, что часть ринхолитов, не похожих на типичных «наутилоидных», могла принадлежать конкретным родам литоцератид и филлоцератид [12, 14–21]. Многообещающими представляются структурные исследования ринхолитов с помощью сканирующего электронного микроскопа, которые не только смогут внести формальные дополнения в существующую систему, но возможно, сделают её и более «филогенетической».

В [18] авторы, придерживающиеся концепции широкого понимания таксонов ринхолитов, среди прочих признали подроды *Dentatobeccus* Shiman-sky и *Microbeccus* Shimansky et Nerodenko в качестве синонимов рода *Rhynchoteuthis* d'Orbigny. Позд-

нее в [17] синонимом рода *Palaeoteuthis* d'Orbigny был признан подрод *Akidocheilus* (Romanovichella) Komarov.

Чтобы оценить обоснованность данной ревизии нам представляется интересным кратко рассмотреть некоторые общие вопросы, которые оказывают влияние на различные подходы к построению классификации ринхолитов и при этом могут послужить источником возможных неточностей.

При изучении ископаемых организмов какой-либо группы всегда можно видеть, что разные экземпляры рассматриваемой популяции отличаются один от другого, обладая теми или иными особенностями. Они могут быть случайными (патологическими, тератологическими, с признаками абиотического воздействия) или закономерными. Среди последних различают черты, связанные с онтогенетическим развитием и особенностями, представляющие собой различные отклонения от нормы, точнее от некоего усреднённого представления о данной группе организмов. Указанные явления названы «изменчивостью». Принято различать возрастную и индивидуальную изменчивость. Дифференциация видовой популяции на формы с различными особенностями может быть также связана с половым диморфизмом. Если не учитывать способность морфологических признаков изменяться, то можно прийти к ошибочным заключениям об их систематической ценности.

Очевидно, что в любой популяции в каждый данный момент времени существует изменчивость, обусловленная возрастными различиями. Особи популяции должны различаться по крайней мере своей величиной. Большинство организмов претерпевает резкие изменения в процессе онтогенетического развития, изменяясь не только количественно, но и качественно. Если учитывать эти данные, то можно избежать ошибочного принятия возрастных изменений за филогенетические. Ход индивидуального развития ринхолитов не может быть в полной мере восстановлен по строению одного экземпляра, пусть и сохраняющего следы последовательных стадий роста, происшедшего путём простого приращения новых слоёв. Для этого требуется подбор возрастных серий. Однако на практике подобрать несколько ринхолитов, относящихся к одному виду и характеризующих разные возрастные стадии невероятно сложно. Это может привести к тому, что единичные, обладающие своеобразием крошечные ринхолиты могут быть приняты за самостоятельные виды. Достаточно перспективным для изучения возрастной изменчивости может оказаться использование сериальных пришлифовок с последующим снятием ацетатных плёнок [1]. Эту методику целесообразно применять в тех случаях, когда имеющийся материал немногочисленный, но всё же не единичный.

У большинства раздельнополых организмов особи противоположного пола различаются морфологически. На скелетах одних организмов половой диморфизм не отражается, тогда как у других организмов он бывает отчётливо выражен. Доказывая, что данные окаменелости представляют собой разнополые особи одного вида, палеонтолог должен учитывать такие признаки, как совместная встречаемость и относительная численность обеих форм. Выявить особенности полового диморфизма у ринхолитов на данном этапе нереально. Следует отметить, что сведения о потенциальной возможности разграничения раковин самцов и самок у аммонитов имеются, однако и они носят предположительный характер.

Аномальные отклонения в строении ринхолитов очень редки и кратко рассмотрены лишь в [9]. Как показывает практика, нарушения в строении капюшона обнаруживаются реже, чем в строении рукоятки. При анализе природы аномалий следует учитывать положение ринхолита в челюсти животного — из неё выступал только капюшон, а рукоятка была прикрыта боковыми частями челюсти. Механические повреждения рукоятки в этом случае маловероятны, и все аномалии в ее строении следует объяснять какими-то болезненными, патологическими явлениями невыясненной этиологии [9]. К наиболее заметным аномалиям можно отнести нарушение симметрии борозды на дорсальной части рукоятки, раздвоение борозды рукоятки, недоразвитие одной из сторон рукоятки, а также пережимы на крыльях капюшона. Следует подчеркнуть, что указанные аномалии в той или иной степени всегда связаны с потерей отдельными экземплярами свойственной ринхолитам билатеральной симметрии. Следы механических травм, как прижизненных, так и послесмертных, выражаются в повреждениях краёв капюшона, наличии в ринхолите трещинок и других деформациях. Таким образом, как патологические изменения (связанные с нарушением двусторонней симметрии ринхолитов), так и механические повреждения легко узнаются и не должны быть причиной ошибок в классификационных построениях.

Значительно сложнее обстоит дело с тератологическими явлениями (уродствами), которыми обычно называют резкие спонтанные аномалии, являющиеся крайними вариантами изменчивости, свойственной отдельным видам. Для ископаемых остатков (и тем более для паратаксономических групп, к которым относятся ринхолиты), понять, с уродством мы имеем дело или нет, затруднительно. Это объясняется невозможностью применения к ринхолитам генетического анализа и невозможностью судить «о степени наследуемости наблюдаемых аномалий и об их связи с теми или иными внешними или внутренними факторами» [11, с. 221]. На примере других систематических групп извест-

но, что любые тератологические отклонения от нормы при всём их разнообразии имеют свою специфику, и при наличии достаточно больших выборок они становятся столь же важными для характеристики этих групп, как и «нормальные» признаки, учитываемые систематикой. Эволюция этих аномальных признаков начинается с возникновения их в качестве редких неустойчивых вариаций, т. е. вначале они имеют отчётливый статус отклонений по отношению к норме. Изучение последующей эволюционной динамики таких вариаций позволяет в ряде случаев проследить пути становления новых черт и одновременно избежать ошибки, связанной с неоправданным выделением уклоняющихся уродливых особей в самостоятельные таксоны.

Очень серьёзное влияние на облик ринхолитов могут оказать процессы коррозии. Важнейшим критерием, позволяющим избежать в этом случае ошибок в классификации ринхолитов, можно считать анализ массовых сборов. В качестве иллюстрации хотелось бы поподробнее остановиться на следующем показательном примере. В [4] была впервые проведена ревизия обширной, включающей 135 экземпляров, коллекции *Akidocheilus (Planecapula) infirus Shimansky*. Это позволило внести уточнения и исправления в таксономическую оценку морфологических особенностей данного вида, являющегося типовым для подрода *Planecapula*. На его примере был проведён специальный анализ явно недостаточно исследованной продольной дорсальной борозды, часто наблюдаемой у ринхолитов. Массовый материал позволил установить, что ринхолиты, подвергшиеся наименьшему выветриванию, обладают своеобразной глянцевой гладкой дорсальной поверхностью, на которой ни линии роста, ни борозда совершенно не заметны. При более существенном воздействии на окаменелости процессов разрушения на дорсальной стороне проявляются линии роста, что становится предвестником возникновения борозды, однако она и в этом случае появляется не сразу. Наблюдения показывают, что капюшон несколько дольше «сопротивляется» выветриванию, чем рукоятка, часто оставаясь гладким и тогда, когда на рукоятке линии роста уже хорошо заметны. Массовый материал позволил проследить последовательность формирования борозды. Первоначально она закладывается в области вершин капюшона или рукоятки. Позднее борозда с различной интенсивностью начинает расти в стороны передней и задней частей ринхолита. При далеко зашедших процессах разрушения капюшон и рукоятка одинаково предрасположены к образованию борозды. Случаи, когда последняя развивается только на капюшоне или только на рукоятке и достигает при этом максимально возможной длины, единичны. После того, как борозда пересечёт всю верхнюю поверхность

ринхолита, происходит её углубление. На некоторых капюшонах наблюдалась «пунктирная» борозда, прерванная в некоторых местах неразрушенными узкими пластинами нарастания. Степень развития борозды, а также её конкретное положение совершенно не связаны с размерами ринхолитов. Это дополнительно показывает, что дорсальная борозда является результатом выветривания, а не специфической особенностью морфологии. Бесспорное доказательство вторичности борозды — избирательное разрушение ринхолитов, при котором одна часть спинной поверхности вообще не несёт на себе борозды, а другая, испытывавшая более глубокие процессы эрозии, несёт зрелую глубокую борозду. В ходе анализа был сделан вывод о том, что придавать борозде какое-то таксономическое значение можно только в том случае, если она наблюдается на ринхолитах, не несущих следов выветривания в виде линий роста. Проведённые исследования позволили с уверенностью говорить об ошибочности предложенной V. Housa [13] интерпретации таксономической значимости дорсальной срединной борозды. Данный исследователь считал, что длину борозды можно рассматривать даже в качестве признака родового ранга. Отчётливость борозды и её протяжённость V. Housa использовал также для разграничения видов, считая, что *Akidocheilus (Planecapula) albeari* Housa отличается от *A. (P.) infirus Shimansky*, в том числе более ярко выраженной и длинной бороздой. Проведённое исследование также доказало, что подрод *Akidocheilus (Shimanskia)*, за главный отличительный признак которого была принята отчётливая узкая борозда, развитая по всей длине ринхолита в осевой части его верхней поверхности [2], является синонимом подрода *Akidocheilus (Planecapula)*.

Интересные результаты, позволившие оценить степень воздействия коррозии на внешний вид ринхолитов, были получены при их экспериментальном растворении в слабом растворе соляной кислоты [3]. Данный эксперимент в ускоренном виде показал, что потенциально может происходить с ринхолитами в природной обстановке. Было установлено, что ринхолиты очень быстро полностью растворяются. Это указывает на возможность обнаружения маленьких образцов, оставшихся от крупных экземпляров и внешне от них крайне отличающихся. Данные экспонаты можно принять за новые виды, что будет ошибкой. Помогает то, что при далеко зашедших процессах растворения серьёзно нарушается симметрия ринхолита. Это позволяет понять, что экземпляр видоизменён. В процессе экспериментального растворения был также получен важный вывод о том, что у целых, ещё не затронутых растворением экземпляров линии роста на поверхности не видны. Они появляются только при начавшемся растворении. Таким

образом, при наличии на ринхолите линий роста надо учитывать, что, по всей видимости, его форма или размеры в той или иной степени трансформировались.

Возвращаясь к проведенной в [17, 18] ревизии, следует отметить, что подрод *Dentatobeccus* объединяет порядка 20 видов, у которых развит зубовидный выступ на нижней стороне капюшона [8]. Подрод *Microbeccus*, насчитывающий в настоящее время восемь видов, был установлен на основании изучения группы форм, у которых вершина рукоятки выступает над вершиной миниатюрного капюшона [10]. Указанные морфологические особенности являются необычными для ринхолитов и резко отличают таксоны, ими обладающие, от других. Следует также отметить, что и дентатобеккусы и микробеккусы представляют собой долгоживущие группы, достоверно известные с поздней юры до апта включительно.

Подрод *Akidocheilus* (*Romanovichella*) отчетливо отличается от рода *Palaeoteuthis* отсутствием продольного валика и наличием необычайно резкого и высокого срединного ребра [5]. Данный подрод был описан на основе изучения одного экземпляра очень хорошей сохранности, на поверхности которого не заметны линии роста. Это позволяет считать, что наблюдаемые у него особенности морфологии не связаны с выветриванием, а являются первичными. Вопрос более точного понимания классификационного значения очень резкого и высокого срединного ребра может быть решен лишь одним способом — сбором и анализом представительного во всех отношениях материала по ринхолитам подрода *Akidocheilus* (*Romanovichella*) из сеноманских отложений Горного Крыма.

Таким образом, лишение подродов *Dentatobeccus*, *Microbeccus* и *Romanovichella* самостоя-

тельного статуса и отнесение их к синонимам рода *Hadrocheilus* представляется нелогичным.

Как уже было отмечено выше, в палеонтологии не рекомендуется установление новых таксонов по ограниченному материалу. Но в то же время, вряд ли следует, обнаружив какой-то экзотический экземпляр ринхолита, своеобразие архитектуры которого не связаны с изменчивостью, механическими повреждениями или коррозией, ждать, когда будет найдено много подобных форм (этого может вообще никогда не произойти из-за неполноты палеонтологической летописи). 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 очень близкие, мы навеки теряем эти формы в огромном потоке информации. Выделяя же в особые таксоны, обращаем на них внимание и позволяем находить подобное» [9, с. 113]. Публикации описаний подобных форм дают актуальный сравнительный материал для размышления, для его живого динамического обсуждения палеонтологическим сообществом. Применяемое в разумных пределах узкое понимание вида не должно пугать, оно не приведет к номенклатурному хаосу. Наоборот, это значительно облегчит проблему передачи представления о виде другим исследователям и распознавание ринхолитов для решения практических задач.

Подводя итог, хотелось бы отметить, что искусственная система (какой бы конкретный её вариант не был бы предложен), со всеми её минусами, пока является для ринхолитов единственно возможной. Основным критерием, позволяющим минимизировать её отрицательные стороны и обосновать выделение нового таксона, следует признать только имеющийся по нему массовый материал.

ЛИТЕРАТУРА

1. Комаров В.Н. Изучение ринхолитов методом последовательных сериальных шлифовок // Изв. вузов. Геология и разведка. 1997. № 3. С. 153–155.
2. Комаров В.Н. Новые ринхолиты из нижнемеловых отложений Горного Крыма // Палеонтол. журн. 1998. № 6. С. 30–32.
3. Комаров В.Н. О результатах экспериментального растворения ринхолитов // Изв. вузов. Геология и разведка. 2000. № 1. С. 150–152.
4. Комаров В.Н. Новые данные об *Akidocheilus* (*Planecapula*) *infirius* Shimansky — типовом виде подрода *Planecapula* (ринхолиты) // Изв. вузов. Геология и разведка. 2001. № 5. С. 58–65.
5. Комаров В.Н. Первая находка поздне меловых ринхолитов рода *Akidocheilus* Till // Палеонтол. журн. 2003. № 1. С. 21–23.
6. Коробков И.А. Палеонтологические описания. Л.: Недра, 1971. 200 с.
7. Шиманский В.Н. Историческая смена ринхолитов // Ископаемые головоногие моллюски. М.: Наука, 1985. С. 155–167.
8. Шиманский В.Н. Ринхолиты подродов *Arcuatobeccus* и *Dentatobeccus* из меловых отложений Крыма // Палеонтол. журн. 1986. № 2. С. 13–22.
9. Шиманский В.Н. О некоторых аномалиях в строении ринхолитов // Бюлл. МОИП. Отд. геол. 1987. Т. 62. В. 2. С. 110–117.
10. Шиманский В.Н., Нероденко В.М. Новый подрод ринхолитов *Microbeccus* из раннего мела // Палеонтол. журн. 1983. № 4. С. 36–41.
11. Шикин М.А., Макридин В.П. Палеопатологические и палеотератологические исследования // Современная палеонтология. Т. 1. М.: Недра, 1988. С. 219–229.
12. Dagens D.S., Weitschat W. Ammonoid jaws from the boreal Triassic realm (Svalbard and Siberia) // Mitt. Geol.-Palaontol. Inst. Univ. 1988. N 67. P. 53–71.
13. Housa V. Neocomian rhyncholites from Cuba // J. Paleontol. 1969. V. 43. N 1. P. 119–124.
14. Kanie Y. Cretaceous tetragonitid ammonite jaws: a comparison with modern Nautilus jaws // Transactions and Proceedings of the Palaeontological Society of Japan, New Series. 1982, N 125. P. 239–258.
15. Nemoto T., Tanabe K. New record of a rhyncholite (cephalopod upper jaw element) from the Maastrichtian of Hokkaido, Japan // Paleontological Research, 2008, V. 12, N 3. P. 303–306.
16. Rieggraf 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 // Geol. Rdsch. 1989. V. 78. N 3. P. 1141–1163.

17. Riegraf W., Moosleitner G. Barremian rhyncholites (Lower Cretaceous Ammonoidea: calcified upper jaws) from the Serre de Bleyton (Departement Drome, SE France) // Ann. Naturhist. Mus. Wien, Serie A. 2010. N 112. P. 627–658.
18. 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 s.
19. Tanabe K., Fukuda Y. The jaw apparatus of the Cretaceous ammonite Reesidites // Lethaia. 1987. V. 20. N 1. P. 41–48.
20. Tanabe K., Fukuda Y., Kanie Y., Lehmann U. Rhyncholites and Conchorhynchus as calcified jaw elements in some Late Cretaceous ammonites // Lethaia. 1980. V. 13. P. 157–168.
21. Tanabe K., Landman N.H. Morphological diversity of the jaws of Cretaceous Ammonoidea // Abhandlungen der Geologischen Bundesanstalt. 2002. V. 57. P. 157–165.

УДК 551.243

ДЕФОРМАЦИИ И ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУР СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ОБЛАСТИ РАЗВИТИЯ МАКСЮТОВСКОГО МЕТАМОРФИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА (ЮЖНЫЙ УРАЛ)

Б.Г. ГОЛИОНКО, А.В. РЯЗАНЦЕВ

ФГБУН Геологический институт РАН
7 Пыжевский пер., г. Москва 19017, Россия
e-mail golbor62@gmail.com

Рассмотрено строение и структурная эволюция максютовского метаморфического комплекса на севере области его распространения. Установлено, что ранние складки F_1 , зеркало которых погружается в юго-восточном направлении, развиты лишь в максютовском комплексе. Проблема определения геодинамической природы этапа деформации D_I , маркируемого формированием складок F_1 , пока не нашла своего решения. Предположено, что тектонические линзы метаморфических пород, приуроченные к западной границе зоны Главного Уральского разлома, в которых не проявлен этап деформаций D_I , не должны рассматриваться в составе максютовского комплекса. Этап деформаций D_{II} , выразившийся в формировании надвигов и складок F_2 западной вергентности, обусловлен проявлением позднепалеозойской континентальной коллизии. Третий этап деформаций D_{III} , маркируемый развитием складок F_3 с крутопадающими шарнирами, связан с проявлением постколлизии сдвиговых движений.

Ключевые слова: зона Уралтау; этап деформации; асимметричные складки; шарнир; линейность; максютовский метаморфический комплекс; вергентность.

DEFORMATIONS AND THE SEQUENCE OF THE STRUCTURES FORMATION IN THE NORTHERN PART OF THE ZONE OF DEVELOPMENT OF MAKSUTOVO METAMORPHIC COMPLEX (SOUTHERN URALS)

B.G. GOLIONKO, A.V. RYAZANTSEV

Geological Institute, Russian Academy of Sciences (GIN RAS)
7 Pyzhevski lane, Moscow 119017, Russia
e-mail golbor62@yandex.ru

Composition and structural evolution of the Maksutovo metamorphic complex in the its northern part has been examined. The early folds F_1 plunging in the SE direction have been established to be developed only in the rocks of the Maksutovo metamorphic complex. The problem of the definition of the geodynamic nature of the D_I deformation stage, marked by the folds F_1 , has not been solved yet. Tectonic inclusions of the metamorphic rocks adjacent to the western border of the Main Uralian Thrust without traces of D_I deformation stage must not be considered as parts of the Maksutovo metamorphic complex. D_{II} deformation stage expressed in formation of thrusts and F_2 west vergent folds is connected with late Paleozoic continental collision. The third stage of deformation D_{III} is marked by development of F_3 folds with steep hinges associated with post collision strike slip movements.

Keywords: Uraltau zone; stage of deformation; asymmetric folds; hinge; lineation; Maksutovo metamorphic complex; vergence.

Определение характера и направленности структурной эволюции метаморфических комплексов Южного Урала является основной задачей структурно-геологических исследований в этом регионе, которые существенно дополняют данные о его геодинамической эволюции. Проведённые ранее исследования структуры максютовского метаморфического комплекса в основном затрагивали южную часть зоны его распространения [9, 15, 16]. Отдельные работы, касавшиеся северной части максютовского комплекса [2, 3], были опубликованы более 15 лет назад. С тех пор получены новые данные, позволившие существенно уточнить характер структурной эволюции комплекса на севере зоны его развития. Изложению результатов этих работ и посвящена данная статья.

Краткий геологический очерк

Максютовский эклогит-глаукофан-сланцевый метаморфический комплекс распространён на юго-востоке западного склона Южного Урала, где образует узкий (1,5—16 км) тектонический блок, слагающий центральную и восточную части зоны Уралтау (рис. 1), протягиваясь с севера от долины притока р. Большой Кизил (р. Казмаш) на юг до долины р. Губерля более чем на 200 км. На востоке область распространения этого комплекса ограничена меланжем зоны Главного Уральского разлома (ГУР), а на западе она отделяется от метатерригенных образований суванякского метаморфического комплекса, слагающего западную часть зоны Уралтау, Янтышевско-Юлукским разломом. Максютковский комплекс характеризуется сложной, многоэтапной эволюцией складчатости и метаморфизма, присутствием в составе разнообразных метаматических и метаосадочных пород.

Максютовский комплекс был выделен в зоне Уралтау Д.Г. Ожигановым [12], разделившим его на яманскую, сложенную гранат-глаукофановыми сланцами, кварцитами и зелёными ортосланцами, и ишимбетовскую свиту, представленную переслаиванием графитовых и неграфитовых парасланцев с прослоями зелёных ортосланцев.

Впоследствии была принята четырехчленная схема стратиграфического расчленения комплекса [7] на залегающие последовательно (снизу вверх) галеевскую (существенно кварцитовую), кайраклинскую, представленную переслаиванием графитовых и неграфитовых парасланцев, кварцитов и ортосланцев основного состава, юмагузинскую, разрез которой представлен переслаиванием гранат-глаукофановых сланцев, кварцитов и метааркозов, и карамалинскую, описываемую чередованием графитовых и неграфитовых парасланцев, кварцитов и основных метавулканитов. В настоящее время предполагается [1], что в строении комплекса участвуют две тектонически совмещённые

структурно-формационные единицы: нижняя метатерригенная (субконтинентальная) и верхняя метавулканогенная (субофиолитовая). Допускается, что в состав нижней единицы входят образования галеевской и юмагузинской, а в состав верхней — кайраклинской и карамалинской свит [5]. Ранее большинство исследователей [1, 4, 10] считали возраст комплекса позднерифейским. Затем появились данные о находках палеозойской фауны среди его образований [5]. Однако существуют сомнения в том, что линзы мраморизованных известняков, содержащие ископаемые остатки палеозойских конодонтов, изначально принадлежали максютовскому комплексу, а не являлись тектоническими клиньями, совмещёнными с максютовскими породами в ходе позднепалеозойской коллизии [15]. В настоящее время считается [13, 14], что возраст последних метаморфических преобразований комплекса девонский. Sm-Nd возраст эклогитов максютовского комплекса составляет 650 ± 15 млн. лет [4], в то же время данные, полученные различными методами [13, 14], свидетельствуют о более молодом возрасте пород комплекса — 420—370 млн. лет, что хорошо сопоставляется с прежними K-Ar датировками — 400 ± 20 млн. лет [10]. Проведённые в последнее время обобщения изотопно-геохронологических данных свидетельствуют о сложной, многоэтапной метаморфической эволюции комплекса [17]. Вероятно, он является полиметаморфическим или (и) содержит в своём составе образования различных возрастов [8, 15].

Результаты структурно-геологических исследований

Определение характера структурной эволюции северной части области распространения максютовского комплекса проводилось при изучении последовательности формирования мезоскладок (т. е. складок, наблюдаемых в пределах обнажения) и связанных с ними линейных элементов мезоструктуры, развитых в максютовских породах в верхнем течении р. Сакмара напротив дер. Гумерово, а также между деревнями Нижнеяикбаево и Бекешево. Оба участка включают в себя фрагменты зоны ГУР и в пределах этих участков распространены сходные комплексы (рис. 1, 2), слагающие тектонические покровы в западной части Магнитогорской синформы (мегазоны).

В районе дер. Гумерово на максютовском комплексе, к востоку от него, залегает пакет тектонических пластин, в которых сменяются: 1) гумеровский комплекс ($D_1?$), представленный смятыми в складки зелёными сланцами по базальтам, туффидам, долеритам даек со скринами метагаббро и серпентинитов, которые по результатам геологической съёмки масштаба 1 : 200000, сопоставлялись с вулканитами и субвулканическими образованиями баймак-бурибайской свиты нижнего девона, мощ-

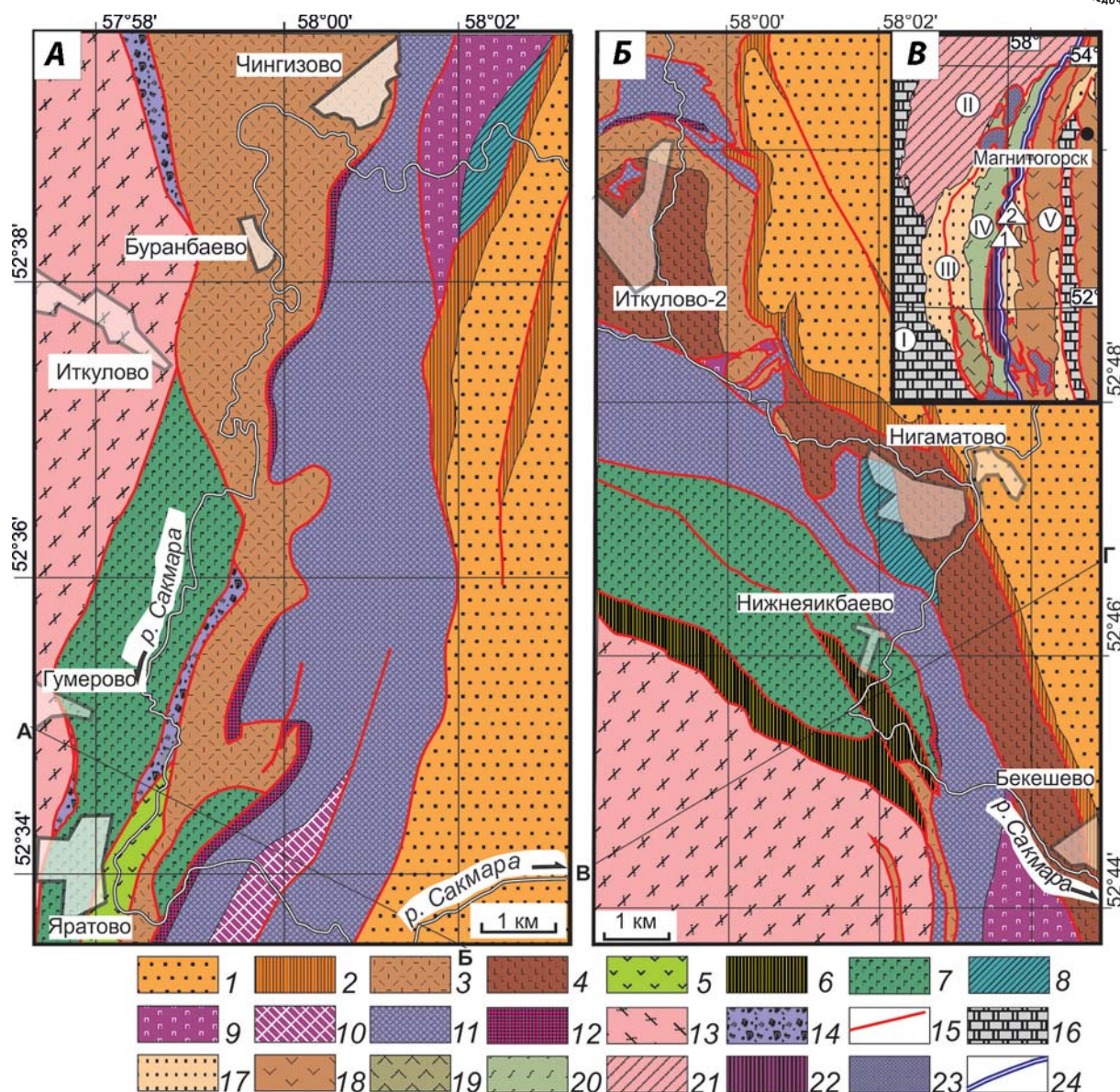


Рис. 1. Схемы геологического строения зоны Главного Уральского разлома в районе дер. Гумерово (А) и дер. Нижнеякбаево (Б); на врезке В — основные структурные элементы Южного Урала и положение исследованных участков: 1 — граувакковый флиш зилаирской свиты (D_3fm), 2 — актауская толща (D_{2-3}): кремни, фтаниты; 3, 4 — баймак-бурибайская свита (D_1): 3 — риолиты и их туфы, 4 — базальты; 5 — яратовская толща (O_3): базальты, андезибазальты, яшмы; 6 — сакмарская свита (?) ($S-D_1$): микрокварциты (метакремни, метафтаниты); 7–11 офиолитовая ассоциация: 7 — гумеровский комплекс (D_1): зелёные сланцы по базальтам, туфогитам, долеритам даек со скринами метагаббро и серпентинитов, 8 — баймак-бурибайский комплекс параллельных долеритовых даек (D_1), 9 — полосчатый комплекс, 10 — дуниты, 11 — гарцбургиты; 12 — габбро-амфиболиты и гранатовые амфиболиты (D_1); 13 — максютовский комплекс; 14 — серпентинитовый меланж; 15 — тектонические контакты; на врезке (В): 16 — каменноугольные (в Предуральском прогибе каменноугольные и пермские) терригенно-карбонатные толщи, 17 — граувакковый флиш (D_3fm), 18 — девонские и каменноугольные надсубдукционные вулканогенные толщи, 19 — вулканогенные и вулканогенно-осадочные толщи (Є, О, S), 20 — суванякский комплекс (PZ_{1-2} , частично рЄ), метаморфизованные кремнисто-терригенные и терригенные толщи, на юге метавулканогенная каялинская толща (V), 21 — докембрийские образования и их терригенно-карбонатные чехлы (O_2-D_2), 22 — максютовский эклогит-глаукофансланцевый комплекс, 23 — мафит-ультрамафитовые комплексы офиолитов и серпентинитовые меланжи, 24 — Главный Уральский разлом; цифры в треугольниках — изученные участки: 1 — Гумерово, 2 — Нижнеякбаево; цифры в кружках — основные структурные элементы: I — Предуральский краевой прогиб, II — Башкирский антиклинорий, III — Зилаирский синклиний, IV — зона Уралтау, V — Магнитогорская мегазона

ность 500—700 м; 2) серпентинитовый меланж, 50—100 м; 3) яратовская толща верхнего ордовика, сложенная чередующимися базальтами и андезибазальтами, в верхней части с горизонтами кремнистых пород, содержащих многочисленные верхнеордовикские конодонты: *Hamarodus* cf. *brevira-*

meus (Walliser), *Scabbardella* cf. *altipes* (Henningsmoen), *Protopanderodus* cf. *insculptus* (Branson et Mehl), 350—500 м; 4) нижнедевонская баймак-бурибайская свита, представленная риолитами и их туфами, с горизонтами серых кремней, содержащих пражско-эмские конодонты *Pandorinellina* cf.

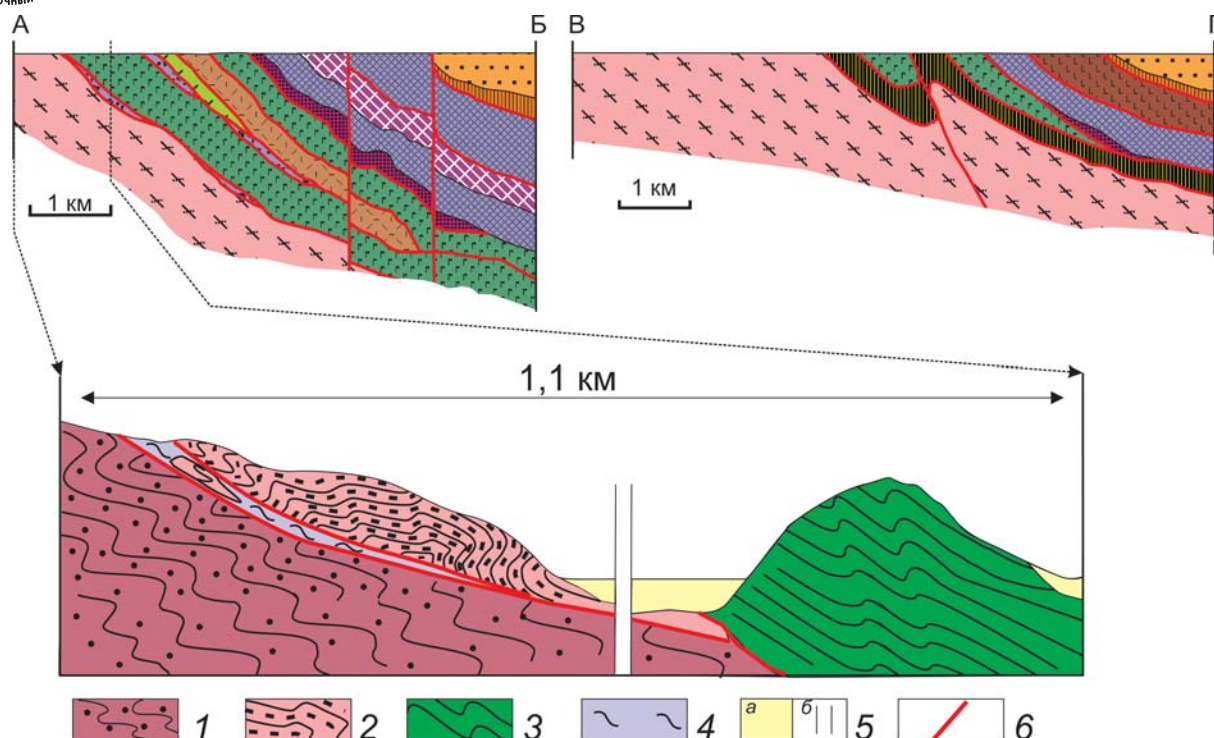


Рис. 2. Геологические разрезы по линии А-Б на рис. 1, А и В-Г на рис. 1, Б (усл. обознач. см. рис. 1) и детальная врезка к разрезу А-Б: 1, 2 — максютовский метаморфический комплекс: 1 — фенгитовые кварциты (юмагузинская свита, нижняя структурная единица), 2 — графитовые кварциты (кайраклинская свита, верхняя структурная единица); 3 — гумеровский комплекс зелёные сланцы по базальтам и туфогенно-осадочным породам; 4 — апосерпентинитовые тальк-хлоритовые сланцы, брекчии и катаклазиты, милониты по породам максютовского комплекса; 5 — рыхлые кайнозойские отложения; 6 — тектонические контакты; 7 — разрывы профиля; в максютовском и гумеровском комплексах структурные линии схематично отражают вергентность складок

steinhornensis (Ziegler), 500—1500 м; 5) комплекс параллельных даек долеритов рассланцованных, метаморфизованных в фации зелёных сланцев (фрагмент гумеровского комплекса), 200—400 м; 6) габбро и габбро-диориты, превращённые в габбро-амфиболиты, гранатопые амфиболиты, горн-блендиты и гнейсы, 50—100 м; 7) гарцбургиты (500—1200 м); 8) дуниты, образующие штокверк жил в гарцбургитовом матриксе, 100—500 м; 9) полосчатый комплекс, представленный переслаивающимися дунитами, верлитами, вебстеритами, а также дайками пироксеновых габбро, 300—1000 м; 10) комплекс параллельных долеритовых даек, 500 м; 11) подушечные вариолитовые базальты, сопоставляемые с аналогичными породами баймакбурибайской свиты, 100 м; 12) актауская свита среднепозднедевонского возраста, сложенная кремнями, 120—200 м, с постепенным переходом перекрывающимися граувакками зилаирской свиты, относящейся к фаменскому ярусу верхнего девона, более 1000 м.

В районе деревень Нижнеяикбаево, Бекешево (рис. 1, Б) распространены аналогичные комплексы, несколько в иной последовательности. Между максютовским и гумеровским комплексом залегает смятая в складки тектоническая пластина, сложенная микрокварцитами, образованными за счёт зелёносланцевого метаморфизма кремней и фта-

нитов. По-видимому, микрокварциты представляют фрагмент широко распространённой в регионе сакмарской свиты силура-нижнего девона, метаморфизованный в условиях зеленосланцевой фации. Ранее эта толща относилась к максютовскому комплексу.

В районе дер. Гумерово, на левом берегу ручья, впадающего справа в р. Сакмара, с запада на восток последовательно в карьере и коренных обнажениях вскрыты породы, относимые к максютовскому комплексу, представленные фенгитовыми кварцитами юмагузинской свиты, входящей в состав нижней метатерригенной структурной единицы максютовского комплекса, на которые с юго-востока по пологому (10—15°) разлому надвинуты графитовые кварциты кайраклинской свиты, по современным представлениям относимые к верхней структурной единице комплекса. Восточнее расположены выходы зелёных сланцев, ранее по петрографическому составу сопоставлявшихся с карамалинской свитой максютовского комплекса [6], нами эти метаморфиты отнесены к гумеровскому комплексу на основании сходства в составе и строении с породами последнего, развитыми на левобережье р. Сакмара (рис. 2). С востока на левом борту долины р. Сакмара кварциты максютовского и зелёные сланцы гумеровского комплексов ограничены серпентинитами зоны ГУР. Все породы

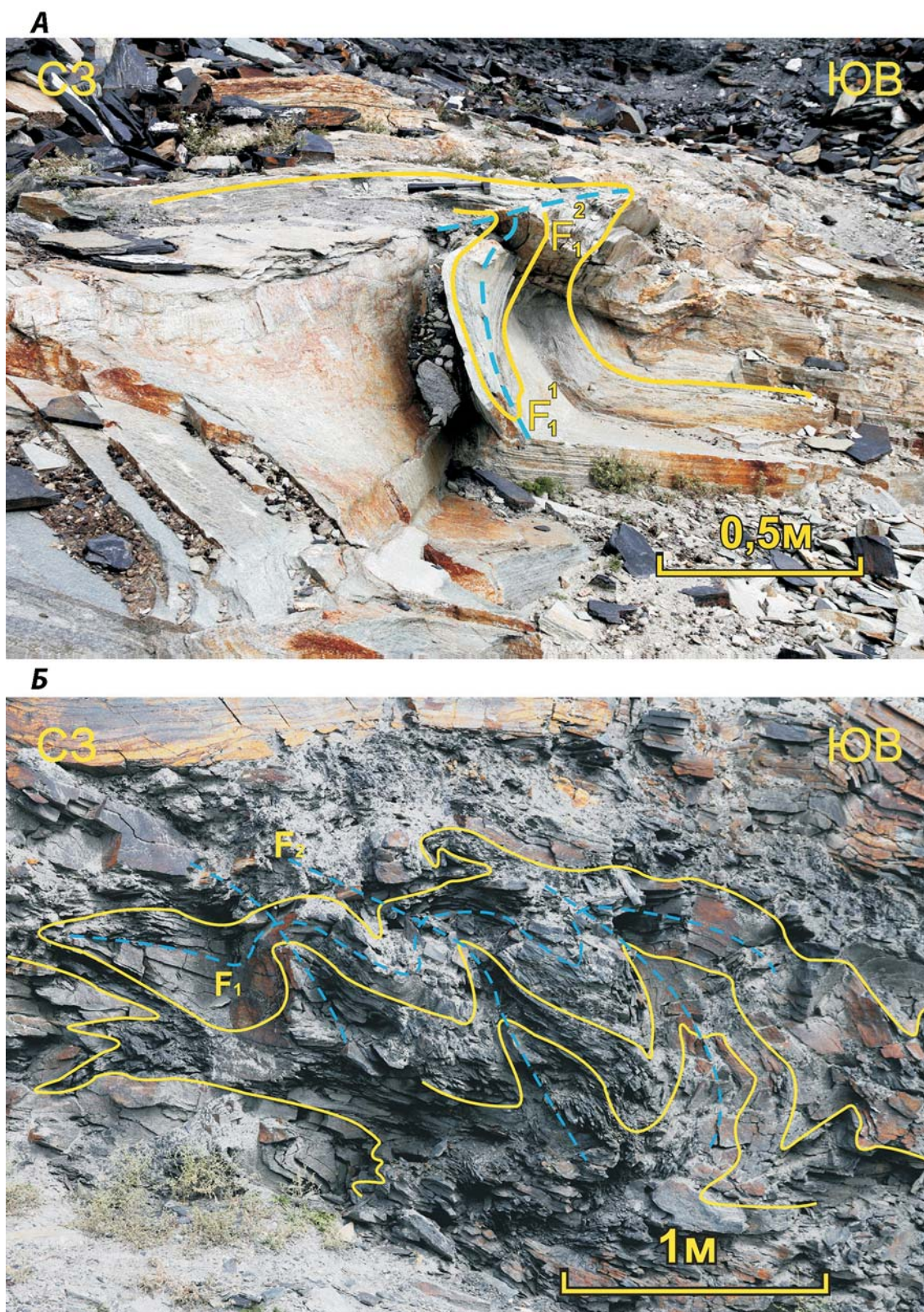


Рис. 3. Складки в кварцитах максютовского метаморфического комплекса, желтые линии — отдешифрированное положение слацеватости, синие пунктирные линии — след осевых поверхностей: *А* — складка в фёнгитовых кварцитах нижней структурной единицы, *Б* — интерференционная складчатость в графитовых кварцитах верхней структурной единицы. F_1^1 и F_1^2 — стадии этапа складкообразования F_1

падают на юго-восток под углами 20—35°. Особенности внутреннего строения рассматриваемой покровной структуры указывают на её общую северо-западную вергентность. Тектонический контакт фенгитовых кварцитов юмагузинской и графитовых кварцитов кайраклинской свит представлен зоной катаклаза и милонитизации мощностью 30—60 см, выполненной как перетёртыми кварцитами обоих типов, так и тальк-хлоритовыми сланцами, очевидно, представляющими собой продукты низкотемпературного метаморфизма гипербазитов. В этой зоне милонитизации отмечаются включения небольших (20—30 см) блоков графитовых кварцитов. Угол падения надвига не превышает 15°. Выше и ниже надвига в породах комплекса развиты складки двух этапов складкообразования. Наиболее ранними являются сжатые изоклиналильные складки. Размах их крыльев не превышает 20—30 см (рис. 3, А). Эти складки смяты в асимметричные Z-образные складчатые структуры, ныряющие (т. е. верхнее крыло смещается относительно нижнего по падению структуры) на юго-восток. Зеркало этих складок погружается в юго-восточном направлении. Тектонические движения, сформировавшие эти структуры, должны были происходить также в данном направлении. Как правило, это более открытые структуры с размахом крыльев 1—2 м. Шарниры складок полого (12—20°) погружаются в северо-восточном и восток—северо-восточном направлениях (рис. 4, А). Следует отметить совпадение ориентировок шарниров изоклиналильных и асимметричных складок. Представляется, что данный факт, а также то, что наблюдались лишь единичные изоклиналильные складчатые структуры, не позволяющие сделать статистически достоверные выводы об ориентировке структурных элементов, не дают возможности обоснованного отнесения ранних изоклиналильных складок к отдельному этапу деформации. С этой точки зрения изоклиналильные и асимметричные складки относятся к этапу складкообразования F_1 , в котором можно выделить более раннюю и более позднюю генерации складок. Обозначим их соответственно F_1^1 и F_1^2 . Складки F_1 нарушаются надвигом, разделяющим фенгитовые и графитовые кварциты. В блоках в зоне милонитизации и в висячем борту разрывного нарушения, в области его динамического влияния развиты сжатые асимметричные S-образные складки, вынырывающие (т. е. верхнее крыло которых движется вверх по восстанию структуры) на северо-запад, соответственно движения, в ходе которых формировались эти структуры, происходили в направлении юго-восток—северо-запад. Размах крыльев этих структур не превышает 1 м. Складки, вынырывающие на северо-запад, отмечены лишь в графитовых кварцитах. В этих же породах эти складки накладываются на складки F_1 , что приводит к формированию зоны чрезвычайно прихотливой интер-

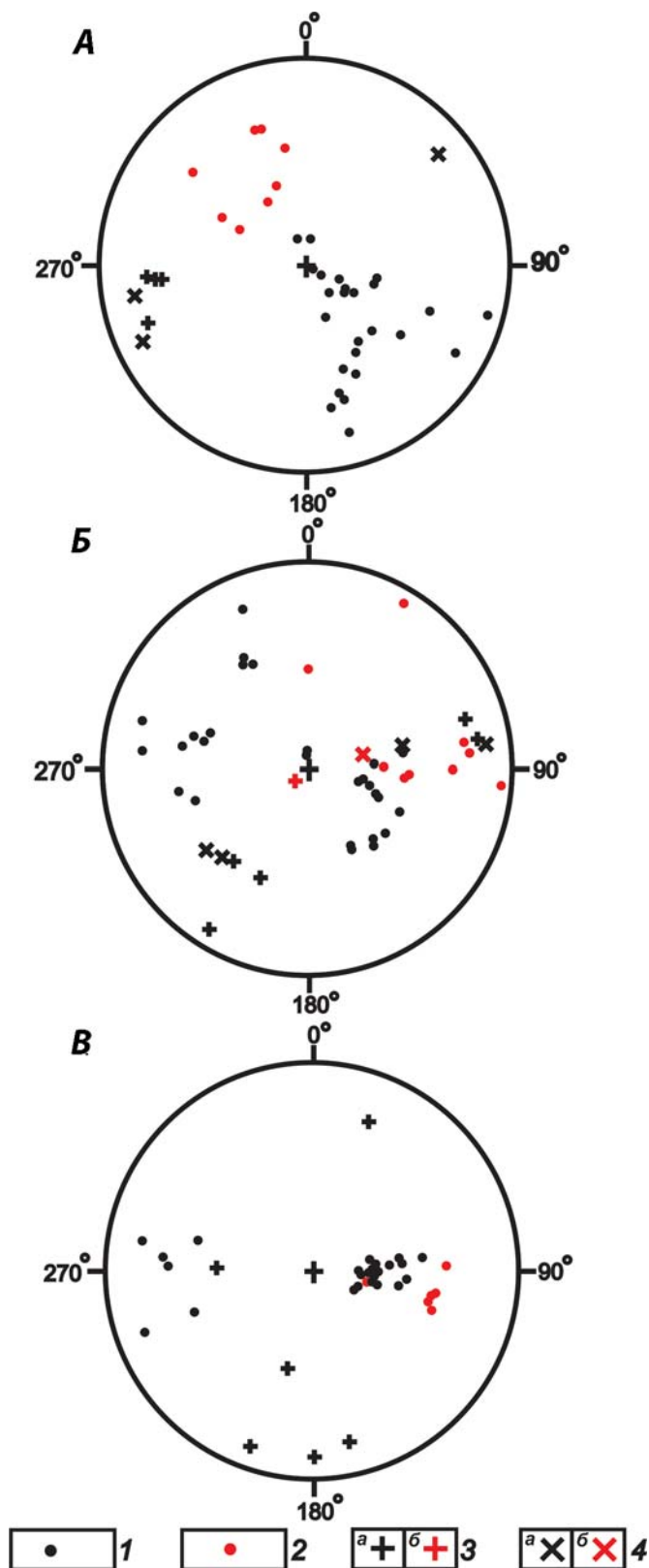


Рис. 4. Стереогаммы элементов залегания полюсов сланцеватости и шарниров складок, равноугольная проекция, верхняя полу-сфера: А — Гумерово, кварциты максютовского метаморфического комплекса (41 замер), Б — Гумерово, зелёные сланцы гумеровского комплекса (47 замеров), В — Нижнеякбаево, микрокварциты сакмарской (?) свиты (37 замеров): 1 — полюса сланцеватости, нормальные залегания; 2 — полюса сланцеватости, опрокинутые залегания; 3 — шарниры складок: а — шарниры складок F_1 и F_2 , б — шарниры складок F_3 ; 4 — линейность: а — линейность складок F_1 и F_2 , б — линейность складок F_3

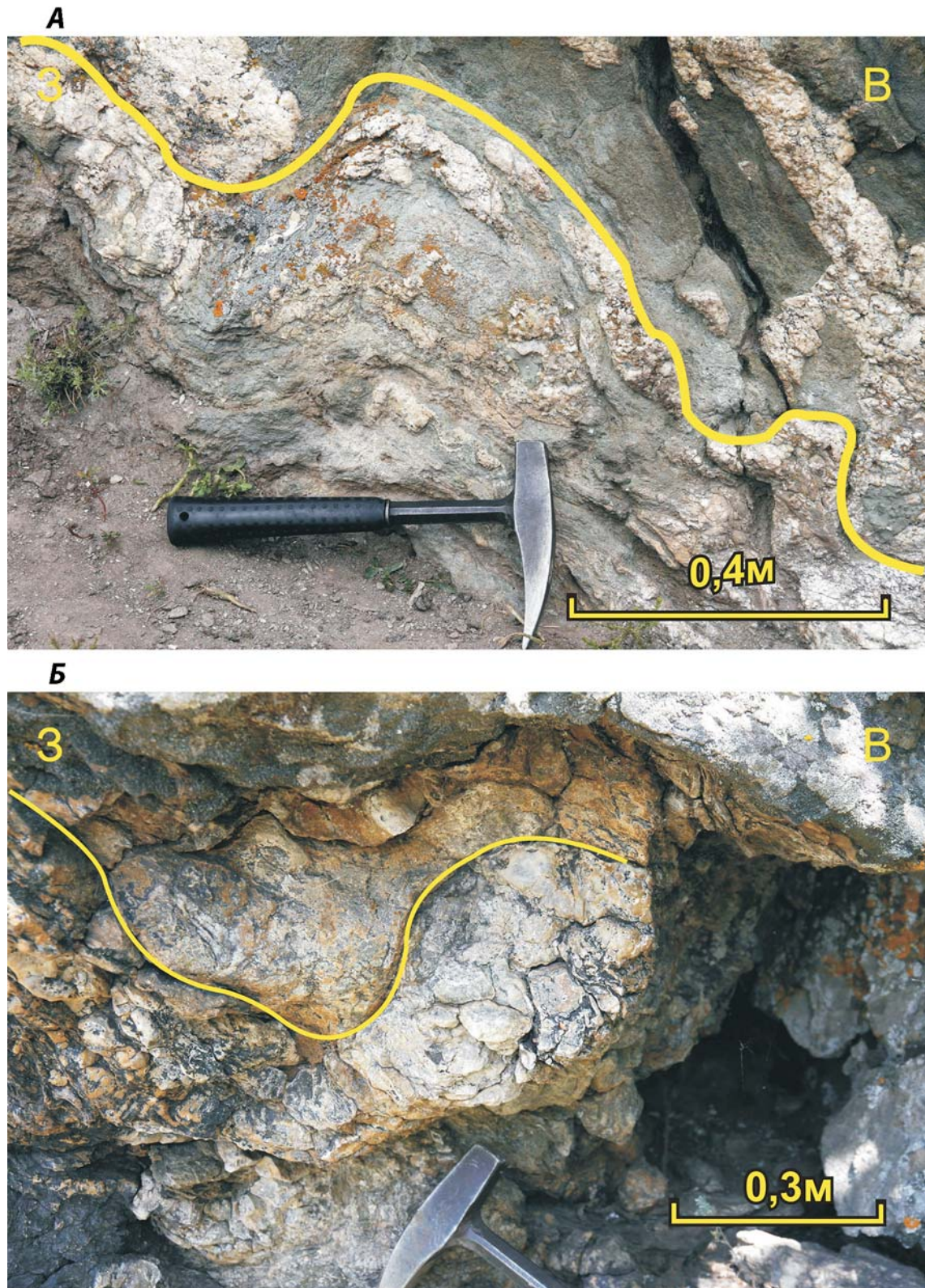


Рис. 5. Складки в зеленых сланцах и микрокварцитах, желтые линии — отдешифрованное положение сланцеватости: *А* — складка в зеленых сланцах гумеровского комплекса (Гумерово), *Б* — складка в микрокварцитах сакмарской (?) свиты (Нижнеяикбаево)

ференционной складчатости (рис. 3, Б). Все это позволяет отнести складки, вынырывающие на северо-запад, к этапу складкообразования F_2 .

В 300 м к востоку от зоны развития пород максютовского комплекса в скальных обнажениях вскрываются зелёные сланцы, представленные альбит-хлоритовыми и альбит-хлорит-кварцевыми породами, которые, как отмечено выше, выделены нами, в качестве гумеровского комплекса. Ранее эта толща сопоставлялась с карамолинской свитой максютовского комплекса. В этих породах наиболее молодыми являются S -образные асимметричные складки, опрокинутые в западных румбах, сопоставимые со складками F_2 максютовского комплекса. Вследствие монотонности строения зелёных сланцев складчатые структуры трудно диагностировать в этих образованиях. Тем не менее удалось выявить систему складок западной и северо-западной вергентности с размахом крыльев от нескольких десятков сантиметров до нескольких метров (рис 5, А). Пологие крылья складок погружаются в юго-восточном и восточном направлениях, крутопадающие — в западном и северо-западном направлениях, а опрокинутые крылья структур падают на восток, редко на северо-восток под углами $40\text{--}85^\circ$. Шарниры складок полого ($5\text{--}30^\circ$) погружаются в северо-восточном и запад—юго-западном направлениях. Линейность, параллельная шарнирам, ориентирована в том же направлении (рис. 4, Б). Здесь же развиты соскладчатые надвиги западной вергентности, сместители которых маркированы зонами милонитизированных тальк-хлоритовых сланцев. Наиболее поздними структурами зелёных сланцев являются изредка встречающиеся мелкие (размах крыльев $0,3\text{--}0,5$ м) сдвиговые складки F_3 с шарнирами круто падающими (до 80°) на северо-восток и запад—юго-запад (рис. 4, Б). Именно сдвиговыми деформациями можно объяснить изменения падения сланцеватости от западного до северо-западного и соответственно от юго-восточного до восточного и даже северного и северо-восточного направления, а также вариации ориентировок шарниров складок в зелёных сланцах.

В 15 км к северу от описанного выше участка, на левом берегу р. Сакмара, примерно в 2 км к юго-востоку от дер. Нижнеяикбаево, в скальных обрывах долины реки расположены выходы микрокварцитов, представляющих собой метаморфизованные кремнистые отложения, также относимые к максютовскому метаморфическому комплексу. С востока они контактируют с серпентинитами зоны ГУР. Следует отметить, что породы максютовского комплекса, с которыми сопоставляются данные микрокварциты [6], представлены более метаморфизованными слюдистыми кварцитами с линзами гранат-глаукофановых пород. Мы относим эти микрокварциты к метаморфизованным отложениям сакмарской свиты силура—нижнего девона.

Микрокварциты смяты в систему складок западной вергентности, представленных как сжатые изоклинальными, так и более открытыми асимметричными Z - и S -образными (в зависимости от экспозиции) складчатыми структурами, вынырывающими на запад (рис 5, Б). Размах крыльев складок варьирует от нескольких сантиметров до нескольких метров. Мелкие складки часто достаточно прихотливо деформированы, что типично для метаморфизованных кремнистых отложений, однако в более крупных структурах отчетливо выделяются общие для участка структурные признаки. Пологие крылья структур погружаются в восточном направлении под углом от 5 до 50° , крутопадающие — от 60 до 80° в западном, запад—северо-западном и юго-западном направлениях. Подвернутые крылья складок характеризуются падениями на восток от 30 до 65° в опрокинутом залегании. Преобладающее падение шарниров структур пологое ($5\text{--}15^\circ$), редко достигающее 40° , направление погружения — в северных румбах (рис. 4, В). Несомненно, что эти складки можно сопоставить с пликативными структурами F_2 в районе Гумерова. Некоторое несовпадение в ориентировках этих складок на двух участках, вероятно, объясняется поздними сдвиговыми движениями, слабо проявленными в районе Нижнеяикбаево.

Обсуждение результатов

Таким образом, в структурной эволюции северной части максютовского комплекса установлено несколько этапов деформации. Первый этап деформации D_I связан с образованием складок первой генерации F_1 , ныряющих на юго-восток. Складки этого типа характерны и для других районов северной части поля распространения максютовского комплекса, при этом общая вергентность структуры здесь северо-западная [2, 3]. В более южных районах зоны развития максютовского комплекса наиболее обычны асимметричные складки юго-восточной вергентности, вынырывающие на юго-восток [11]. Очевидно, эти различия связаны с более поздними движениями, сильнее проявленными на севере зоны развития максютовского комплекса, значительно более сжатой, чем южная часть. Вероятно, что изначально складчатые структуры северной части зоны развития максютовского комплекса, характеризовалась, также как в центральной и южной его части, вергентностью в восточных румбах (рис. 6). Эти складки ориентированы косо по отношению к ГУР, срезаются им [11], и, по всей видимости, являются более древними по отношению к ГУР. Отсутствие складок F_1 в зелёных сланцах гумеровского комплекса и в микрокварцитах Нижнеяикбаево указывает на то, что в этих образованиях нет признаков проявления этапа D_I , а сами они не входят в состав максютовского комплекса.

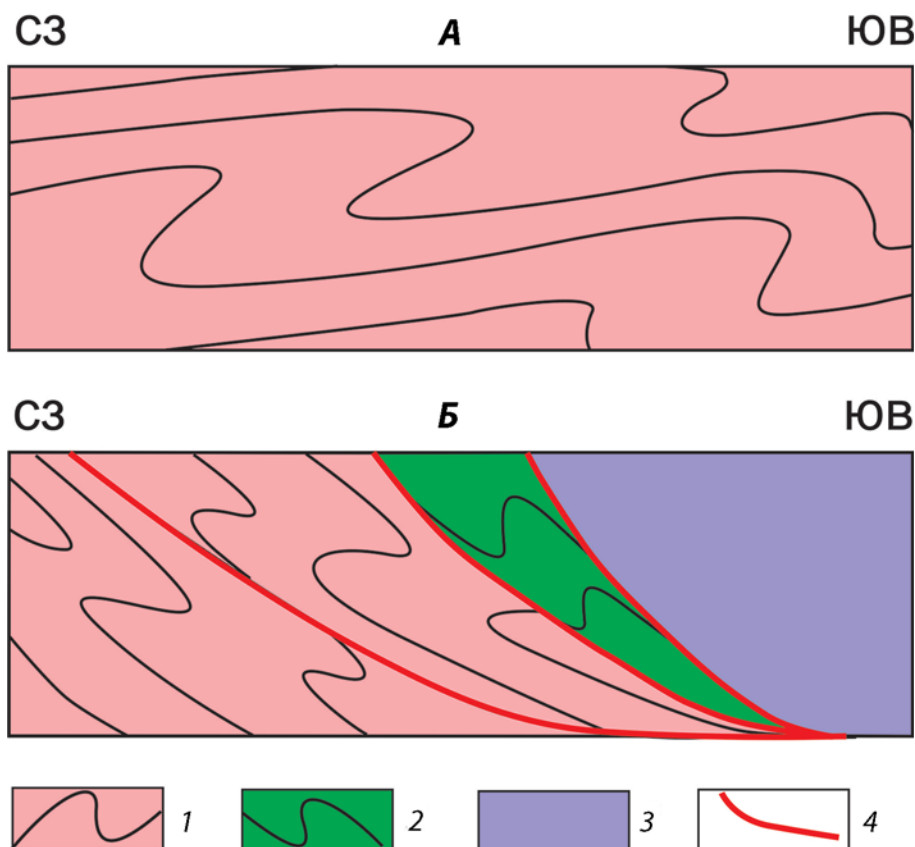


Рис. 6. Структурная эволюция северной части максютовского комплекса на первом и втором этапе деформации; *A* – этап деформации *D1*, образование складок юго-восточной vergentности, *B* – этап деформации *D2* – надвигание комплексов зоны ГУР, формирование складок западной и северо-западной vergentности, преобразование складок юго-восточной vergentности в складки, ныряющие на юго-восток: 1 – максютовский метаморфический комплекс; 2, 3 – образования зоны ГУР: 2 – зеленые сланцы гумеровского комплекса, микрокварциты сакмарской (?) свиты, 3 – гипербазиты; 4 – тектонические контакты; в максютовском и гумеровском комплексах структурные линии схематично отражают vergentность складок

Эти породы формируют тектонические линзы, приуроченные к западной границе зоны ГУР, и представляют собой её метаморфизованные образования и, вероятно, должны рассматриваться в составе зоны ГУР, а не зоны Уралтау. Таким образом, не все метаморфические породы, приуроченные к восточному крылу зоны Уралтау, относятся к максютовскому метаморфическому комплексу. Метаморфизм этих образований, не выходящий за пределы зеленосланцевой фации, очевидно, связан с их близостью к зоне ГУР и маркирует проявление последующего по отношению к *D1* этапа деформаций. Представляется, что наличие или отсутствие ранних складок юго-восточной vergentности может служить диагностическим признаком при отнесении комплексов метаморфических пород к той или иной структуре. Геодинамическая природа ранней складчатости в максютовском комплексе неясна, определение её выходит за рамки данной статьи, и, вне всякого сомнения, не может быть установлена методами одной структурной геологии и должна быть целью дальнейших комплексных исследований.

Этап деформации *D2*, характеризуется образованием надвигов, падающих в восточных румбах, а также складок F_2 западной vergentности в породах максютовского комплекса, в зеленых сланцах гумеровского комплекса и в микрокварцитах сакмарской свиты, развитых южнее дер. Нижнеяикбаево. Западная vergentность складок F_2 и их ассоциация с надвигами той же vergentности, сместители которых маркированы зонами милонитизации по продуктам изменения гипербазитов, указывает на то, что образование этих (F_2) складчатых структур парагенетически связано с надвигообразованием в зоне ГУР, которое, по мнению большинства исследователей региона [13, 14], предопределено позднепалеозойской уральской коллизией. В результате сжатия и надвигообразования в зоне ГУР строение северной части максютовского комплекса приобрело чешуйчатый характер и общую западную vergentность. В ходе этих деформаций складки F_1 , изначально вынырывающие на юго-восток, были переориентированы в складчатые структуры, ныряющие в юго-восточном направлении (рис. 6). Этап постколлизии

зионных сдвиговых деформаций ДПП, выразившийся в формировании складок с крутопадающими шарнирами F_3 , завершил структурную эволюцию исследуемого района.

Экспедиционные исследования проведены при поддержке РФФИ (грант 14-05-00052). Материалы

по геологии Урала собраны, проанализированы в рамках проекта РФФИ № 14-27-00058. Обработка и анализ результатов полевых исследований проведены в соответствии с планами научно-исследовательской работы ГИН РАН (тема госзадания № 0135-2016-0009).

ЛИТЕРАТУРА

1. Вализер П.М., Ленных В.И. Амфиболы голубых сланцев Урала. М.: Наука, 1988. 202 с.
2. Голионко Б.Г. Структурная эволюция пород максютовского комплекса в среднем течении р. Казмаш (Южный Урал) // Изв. вузов. Геология и разведка. 2001. № 3. С. 140–142.
3. Голионко Б.Г. Строение и структурная эволюция северной части максютовского метаморфического комплекса (хр. Уралтау, Южный Урал) // Бюлл. МОИП. Отд. геол. 2002. Т. 77. Вып. 4. С. 26–29.
4. Дук Г.Г. Глаукофансланцевые, глаукофан-зеленосланцевые и офиолитовые комплексы Урало-Монгольского складчатого пояса. СПб.: ИГГД РАН, 1995. 272 с.
5. Захаров О.А., Пучков В.Н. О тектонической природе максютовского комплекса зоны Уралтау. Препринт УНЦ РАН. Уфа, 1994. 31 с.
6. Князев Ю.Г., Князева О.Ю., Сначев В.И., Жданов А.В. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000 (третье поколение). Серия Уральская. Лист N-40 — Уфа. Объяснительная записка. СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2013. 512 с.
7. Криницкий Д.Д., Криницкая В.М. Стратиграфия метаморфических толщ района среднего течения р. Сакмары // Уч. зап. Саратовского гос. Ун-та, вып. 67а, 1961. С. 167–174.
8. Кузнецов Н.Б. Комплексы протоуралит-тиманид и позднекембрийско-раннепалеозойская эволюция восточного и северо-восточного обрамления Восточно-Европейской платформы. Автореферат дисс. ... докт. геол.-мин. наук. М., 2009. 45 с.
9. Кузнецов Н.Б., Езекиа М.Л. Мезоструктурные парагенезы в метаморфических породах поднятия Уралтау (Южный Урал) // Вестник РУДН. Сер. Инженерные исследования. 2011. № 1. С. 37–50.
10. Ленных В.И. Эклогит-глаукофансланцевый пояс Южного Урала. М.: Наука, 1977. 160 с.
11. Миллер Ю.В. Максютковский комплекс Южного Урала // Структурная эволюция метаморфических комплексов. Л.: Наука, 1977. С. 104–114.
12. Ожиганов Д.Г. Геологическое строение метаморфического пояса хр. Уралтау и Южного Урала // Учен. зап. Башк. пед. ин-та. 1955. Вып. 4. С. 3–54.
13. Пучков В.Н. Палеогеодинамика Южного и Среднего Урала. Уфа: ГИЛЕМ, 2000. 146 с.
14. Пучков В.Н. Геология Урала и Приуралья (актуальные вопросы стратиграфии, тектоники, геодинамики и металлогении). Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2010. 280 с.
15. Самыгин С.Г., Милеев В.С., Голионко Б.Г. Зона Уралтау: геодинамическая природа и структурная эволюция // Очерки по региональной тектонике Т. 1. Южный Урал. М.: Наука, 2005. С. 9–35.
16. Hetzel R. Geology and geodynamic evolution of the high-P/low-T Maksytov Complex, southern Urals, Russia // Geol. Rundschau 85. 1999. P. 577–588.
17. Puchkov V.N. New data on geology of the Southern Urals: a concise summary of research after the period of EUROPROBE activity // Solid Earth 2016. № 7. P. 1269–1280.

МИНЕРАЛОГИЯ, ПЕТРОГРАФИЯ, ЛИТОЛОГИЯ

УДК 549.514.81 + 549.514.91

**УНИКАЛЬНАЯ НАХОДКА ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЦИРКОНА В БАДДЕЛЕИТ
(РУДОПРОЯВЛЕНИЯ ИЧЕТЬЮ, СРЕДНИЙ ТИМАН)**

С.Г. СКУБЛОВ^{1,2}, А.О. КРАСОТКИНА^{2,3}, А.Б. МАКЕЕВ³, О.Л. ГАЛАНКИНА¹, А.Е. МЕЛЬНИК^{2,1}

¹*Институт геологии и геохронологии докембрия РАН,
2, Макарова наб., Санкт-Петербург 199034, Россия
e-mail: skublov@yandex.ru*

²*Санкт-Петербургский горный университет,
2, 21-я линия В.О., Санкт-Петербург 199106, Россия
e-mail: krasotkina93@mail.ru*

³*Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН,
35, Старомонетный пер., Москва 119017, Россия
e-mail: abmakeev@igem.ru*

Находки ростовых взаимоотношений бадделеита и циркона редки, они обусловлены существенными различиями в условиях образования этих минералов. При метаморфизме и воздействии на породу флюидов, привносящих кремнезём, возможно реакционное замещение (от частичного до полного) бадделеита цирконом. Противоположная ситуация, когда циркон замещается бадделеитом, чрезвычайно редко встречается в природе. Установлено преобразование циркона из полиминерального рудопроявления Ичетью (Средний Тиман) с образованием микроагрегатов бадделеита, рутила и флоренсита. Размер самых крупных выделений бадделеита не превышает 10 мкм в поперечнике. Микроагрегаты неравномерно приурочены к кайме циркона толщиной от 10 до 50 мкм, пустотам и трещинам, пронизывающим зерно. Преобразованная кайма циркона (смесь новообразованных минералов) отличается резко повышенным содержанием REE (особенно LREE), Y, Nb, Ca, Ti. Содержание Th и U также увеличивается. Обзор экспериментальных исследований по реакционным взаимоотношениям циркона и бадделеита и единичных природных аналогов позволяет сделать заключение, что наиболее вероятным механизмом преобразования циркона из рудопроявления Ичетью в бадделеит в сростаниях с рутилом и флоренситом было воздействие на циркон высокотемпературных (не менее 500–600°C) щелочных флюидов, транспортирующих высокозарядные элементы (REE, Y, Nb, Ti). Косвенно это подтверждается находками циркона с аномально высоким содержанием Y и REE до 100000 и 70000 ppm соответственно.

Ключевые слова: циркон; бадделеит; рудопроявление Ичетью; Средний Тиман.

**A UNIQUE FINDING OF ZIRCON INTO BADDELEYITE TRANSFORMATION
(THE ICHETJU ORE OCCURRENCE, THE MIDDLE TIMAN)**

S.G. SKUBLOV¹, A.O. KRASOTKINA^{2,3}, A.B. MAKEYEV³, O.L. GALANKINA¹, A.E. MELNIK^{2,1}

¹*Institute of Precambrian Geology and Geochronology RAS (IPGG RAS)
2 nab. Makarova, St. Petersburg 199034, Russia
e-mail: skublov@yandex.ru*

²*Saint-Petersburg Mining University
2 21st Line of Vasilyevsky ostrov, St. Petersburg 199106, Russia
e-mail: krasotkina93@mail.ru*

³*Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry RAS
35 Staromonetny lane, Moscow 119017, Russia
e-mail: abmakeev@igem.ru*

Findings of the growth relationships between baddeleyite and zircon are rare, due to significant differences in the formation conditions of the minerals. A reaction replacement (partial to complete) of baddeleyite by zircon is possible during metamorphism accompanied by the interaction with high-Si fluids. The opposite situation, when zircon is replaced by baddeleyite, is extremely rare in the nature. Transformation of zircon from polymineral (compound) ore occurrence Ichetju (the Middle Timan) with the formation of microaggregates of baddeleyite, rutile and florencite has been found out. The size of the largest segregations of baddeleyite does not exceed 10 microns in diameter. Microaggregates are unevenly related to the rim of zircon with a thickness of 10 to 50 nm, voids and cracks across the grain. Altered zircon rim (a mixture of newly formed minerals) is characterized by sharply increased composition of REE (especially LREE), Y, Nb, Ca, Ti. The composition of Th and U also increases. An overview of the experimental studies on the reaction between zircon and baddeleyite and single natural analogues allows to make a conclusion that the most likely mechanism of the transformation of zircon from ore occurrence Ichetju to baddeleyite (intergrowth with rutile and florencite) is due to the effect of interaction of primary zircon with high-temperature (higher than 500–600°C) alkaline fluids transporting HFSE (REE, Y, Nb, Ti). This is indirectly confirmed by the findings of zircon with anomalous high composition of Y and REE up to 100000 and 70000 ppm respectively.

Key words: zircon; baddeleyite; Ichetju ore occurrence; the Middle Timan.

Циркон и бадделеит — два главных минерала циркония, и что особенно важно, они широко используются в геохронологии [3]. В отличие от циркона, присутствующего практически во всех типах пород, бадделеит может кристаллизоваться только в условиях недосыщенности кремнезёмом. Находки ростовых взаимоотношений бадделеита и циркона редки, они обусловлены существенными различиями в условиях образования этих минералов. При метаморфизме и воздействии на породу флюидов, привносящих кремнезём, возможно реакционное замещение (от частичного до полного) бадделеита цирконом [27]. Противоположная ситуация, когда циркон замещается бадделеитом, чрезвычайно редко встречается в природе. В настоящем сообщении рассмотрен уникальный случай преобразования циркона в бадделеит, установленный для циркона из шлиховой пробы ПМ-201 (отобранной с восточной стороны скального обнажения «Золотой Камень» по р. Пижем) из конглобрекциевого горизонта полиминерального рудопроявления Ичетью на Среднем Тимане.

Характеристика рудопроявления Ичетью. Полиминеральное алмаз-золоторедкоземельно-редкометалльно-титановое рудопроявление Ичетью представляет собой горизонт пород со сложной пятнисто-струйчато-линзовидной морфологией тел и выдержанной мощностью от 0,2 до 1,5 м. Породы рудопроявления представлены светло-серыми кварцевыми песчаниками, гравелитами, конгломератами и конглобрекциями, залегающими между двумя мощными толщами в основании среднедевонской пижемской свиты мономинеральных кварцевых песчаников и выше рифейской ильменит-лейкоксен-кварцевой титаноносной толщи Пижемского месторождения, Средний Тиман [8, 12].

Породы рудопроявления отличаются разнообразием минерального состава. В их составе диагностировано более 50 минералов, главные из которых: кварц, рутил, анатаз, ниобиевый рутил, ильменит, циркон, монацит, колумбит, гранаты, хромшпинелиды, турмалин, ставролит, золото с примесью серебра, кривогранные алмазы ураль-

ско-бразильского типа [12]. Среди этого минерального разнообразия в ряде шлиховых проб во фракции (+0,10 — +0,25 мм) циркон составляет более 50, а во всей пробе от 10 до 60 мас. % от минерального состава тяжелого шлиха и представляет промышленный интерес.

Проблема генезиса и связанная с ней проблема возраста оруденения являются открытыми. На ранних этапах исследования была высказана гипотеза о россыпной природе Пижемского месторождения и сопряжённого с ним рудопроявления Ичетью. По мнению авторов настоящей работы, Пижемское циркон-титановое месторождение и полиминеральное проявление Ичетью имеют эндогенное происхождение [8, 13]. Пижемское месторождение по форме рудных тел, имеющих пространственную связь с глубинными разломами, напоминает кальдеру, заполненную песчано-глинистым материалом. Инициатором и движущим фактором образования месторождения могло быть глубинное внедрение неопротерозойских базальтоидов или собственно лампрофиров, аналоги которых керсантит-спессартитового ряда широко распространены в соседней Четласской гряде [10], и их взаимодействие с метеорными водами. Последние, образуя агрессивный водяной пар, разрушали лампрофиры (нахождение которых предполагается на некоторой глубине под Пижемским месторождением, аналогичных по составу четласским — возможного источника титана Пижемского месторождения) и выносили продукты их разрушения в кальдеру. Доказательством того, что протолитом титановых руд были именно лампрофиры, а не подстилающие глинистые сланцы, являются результаты изучения типоморфных особенностей породообразующих и аксессуарных минералов обоих объектов, в том числе циркона и рутила [6, 8—15, 17].

Методика исследования. Химический состав минералов на уровне главных элементов определён методом SEM-EDS в ИГГД РАН (аналитик О.Л. Галанкина) на сканирующем электронном микроскопе JEOL JSM-6510LA с энергодисперсионной приставкой JED-2200. Шайба с зерном цир-

кона насыщалась углеродом. Точечные определения состава минералов выполнялись с использованием электронного луча с ускоряющим напряжением 20 кВ и током 1 нА, размер пятна составлял 2–3 мкм. Время накопления каждого спектра 35 с, в качестве стандартов использовались природные минералы, чистые оксиды и металлы. Для коррекции матричного эффекта применялся алгоритм ZAF.

Содержание редкоземельных (REE) и редких элементов в цирконе определялось на ионном микрозонде Cameca IMS-4f в ЯФ ФТИАН (аналитики С.Г. Симакин, Е.В. Потапов) по методике, приведённой в [21]. Размер исследуемого на ионном микрозонде участка циркона не превышал в диаметре 15–20 мкм; относительная ошибка измерения для большинства элементов составляла 10–15 %; порог обнаружения элементов в среднем равнялся 10 ppb. При построении спектров распределения REE состав циркона нормировался на состав хондрита CI [32].

Результаты и их обсуждение

При исследовании на электронном микроскопе в кайме крупного (до 1000 мкм в поперечнике) зерна циркона из шлиховой пробы ПМ-201 из поли-

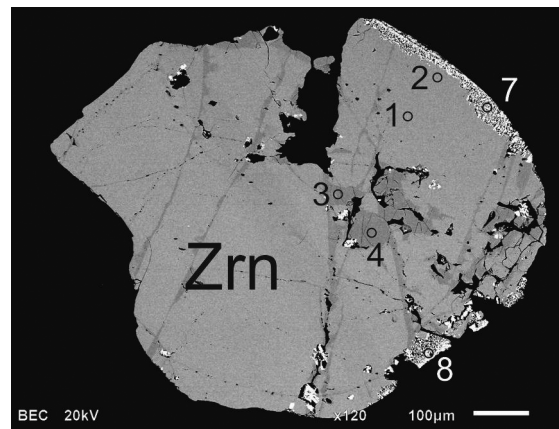


Рис. 1. Изображение в режиме BSE зерна циркона с каймой, сложенной микроагрегатами бадделеита, рутила и флоренсита

минерального рудопроявления Ичетью нами было установлено образование микроагрегатов (симплектитов) бадделеита, рутила и флоренсита (рис. 1). Флоренсит в пределах рудопроявления Ичетью является индикатором вторичных изменений монацита и даже встречается в виде плёнок на алмазе [15]. Размер самых крупных выделений бадделеита не превышает 10 мкм в поперечнике (рис. 2, табл. 1). Микроагрегаты неравномерно приурочены к кай-

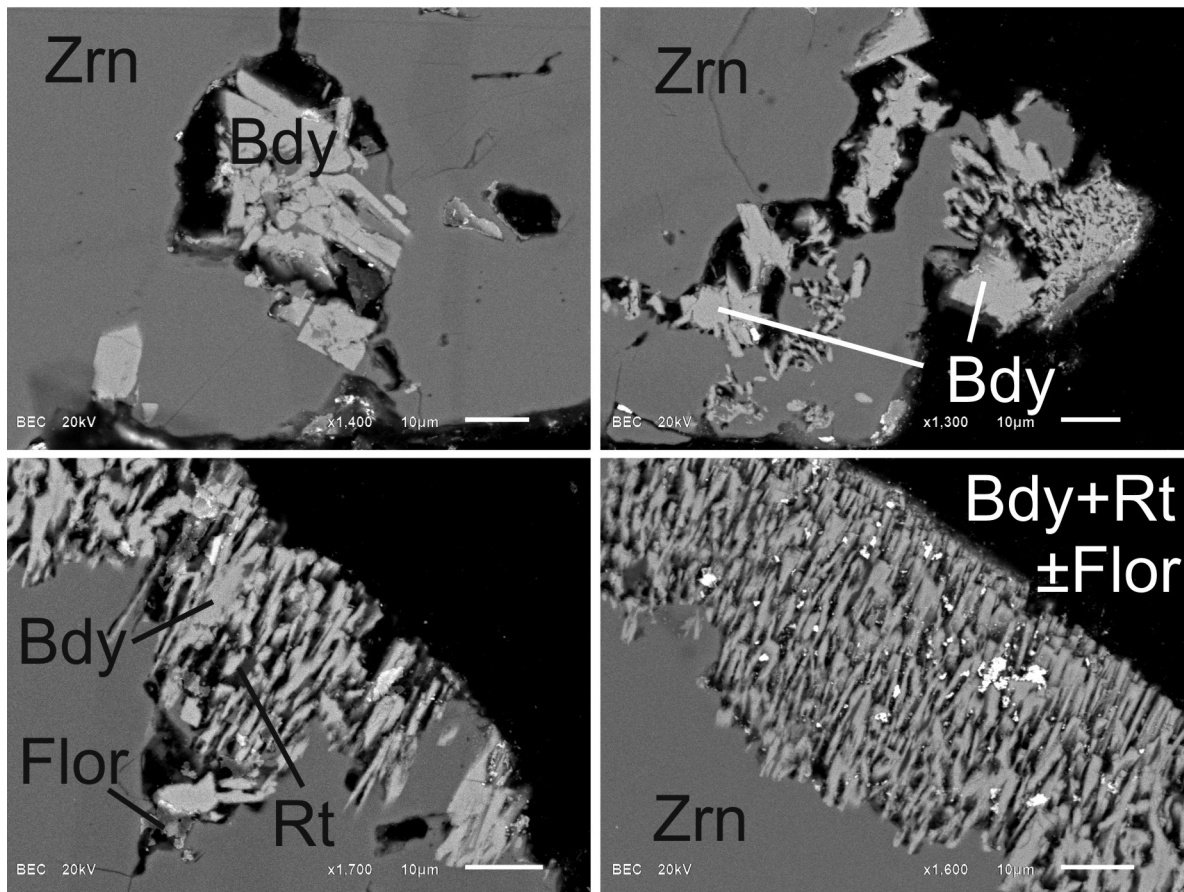


Рис. 2. Увеличенные фрагменты изображения каймы циркона, сложенной микроагрегатами бадделеита, рутила и флоренсита

Таблица 1

Химический состав (мас. %) и коэффициенты в формулах бадделеита

Компонент	Анализ									
	001	002	004	018	031	036	037	028	040	014
TiO ₂	—	1,15	—	1,17	1,23	0,16	0,49	1,85	—	2,17
FeO	—	—	—	0,45	—	—	0,31	0,91	—	0,86
ZrO ₂	99,20	97,20	98,33	97,81	98,72	99,8	98,51	96,12	99,77	96,28
HfO ₂	0,80	1,65	1,67	0,57	0,05	0,04	0,69	1,12	0,23	0,69
Сумма	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Число атомов в формуле в расчете на два атома кислорода										
Ti	—	0,02	—	0,02	0,02	—	0,01	0,03	—	0,03
Fe ²⁺	—	—	—	0,01	—	—	0,01	0,02	—	0,01
Zr	1,00	0,98	0,99	0,97	0,98	1,00	0,98	0,95	1,00	0,97
Hf	—	0,01	0,01	—	—	—	—	0,01	—	—

Примечание. Прочерк — содержание ниже предела обнаружения. Микрозондовые анализы рутила и флоренсита по причине размера зёрен в несколько микрометров отражают состав смеси этих минералов с минералом матрицы — цирконом, поэтому здесь они не приводятся. Коэффициенты в формуле рассчитаны по [5].

ме циркона толщиной от 10 до 50 мкм, пустотам и трещинам, пронизывающим зерно. В целом для рутила (в большей степени) и бадделеита характерна шестоватая форма кристаллов, ориентированная по удлинению перпендикулярно границе зерна циркона.

В зерне циркона по BSE (обратно рассеянные электроны) изображению помимо каймы устанавливается гетерогенность строения, заключающаяся в развитии системы тонких полос и прожилков тёмного оттенка (рис. 1). В основном эти вторичные прожилки приурочены к системам трещин, и в

Таблица 2

Содержание редкоземельных и редких элементов (ppm) в цирконе и продукте его преобразования

Компонент	Анализ					
	1	2	3	4	7	8
La	0,35	0,11	1,71	0,33	0,19	562
Ce	10,0	8,61	13,3	2,49	11,9	1807
Pr	0,33	0,26	0,60	0,08	0,27	181
Nd	3,68	2,81	5,29	0,38	3,84	747
Sm	4,75	3,83	6,53	0,55	5,68	217
Eu	2,66	2,16	3,15	0,21	2,97	102
Gd	17,8	16,9	22,7	1,89	24,3	361
Dy	55,5	51,7	57,3	7,45	78,8	483
Er	81,8	79,8	83,9	18,3	127	397
Yb	137	133	138	47,1	202	545
Lu	19,9	19,6	20,6	7,87	29,9	71,4
Li	11,2	8,54	10,1	0,92	12,5	8,80
Ca	69,9	31,4	53,4	39,9	34,9	1876
Ti	46,9	30,6	41,6	27,7	34,2	104481
Sr	1,54	0,84	3,99	0,86	b.d.l.	b.d.l.
Y	520	478	524	91,3	701	2609
Nb	182	110	119	62,0	75,1	11662
Hf	3885	4075	3953	3819	6021	5276
Th	382	368	457	15,5	542	1340
U	335	335	348	41,5	511	1690
Th/U	1,14	1,10	1,31	0,37	1,06	0,79
Eu/Eu*	0,88	0,82	0,79	0,63	0,77	1,11
Ce/Ce*	7,15	12,5	3,18	3,77	12,9	1,37
REE	334	319	353	86,6	488	5473
LREE	14,4	11,8	20,9	3,27	16,2	3297
HREE	312	301	322	82,6	463	1857
Lu _N /La _N	550	1750	116	232	1547	1,22
Lu _N /Gd _N	9,06	9,43	7,35	33,6	9,93	1,60
Sm _N /La _N	21,8	56,7	6,10	2,69	48,9	0,62

Примечание. Положение точек анализа соответствует рис. 1; b.d.l. — содержание элемента ниже порога чувствительности.

местах скопления трещин и пустот в цирконе образуют изометричные зоны («желваки»), достигающие 50 мкм в поперечнике. Как показывает опыт исследования геохимии циркона, изменение оттенка какого-либо домена и/или генерации циркона в BSE изображении непременно фиксируются изменением состава редких элементов в отличающихся по оттенку доменов циркона. Тёмные в BSE участки и зоны изменения циркона, как правило, содержат значительное количество не формульных для циркона редких элементов, превышающее их содержание в более светлых неизменённых участках того же циркона (например, [19]). В данном случае, при сравнении состава основной части циркона светло-серого оттенка (точки 1 и 2, рис. 1) и циркона тёмно-серого оттенка в укрупнённых доменах, приуроченных к скоплению трещин (точки 3 и 4), закономерных различий в содержании редких элементов не наблюдается (табл. 2). В точке 3 практически такой же состав редких элементов, как и в точках 1 и 2. Циркон в точке 4, напротив, содержит в разы меньшее количество редких элементов, чем в точках 1–3 (табл. 2). Спектр распределения REE в цирконе в точке 4 в среднем на полпорядка обеднён всеми REE, по сравнению с точками 1–3, сохраняя при этом такой же профиль распределения REE (рис. 3). Спектр REE для точек 1–4 в целом отвечает типичному дифференцированному от лёгких к тяжёлым REE распределению в цирконе магматического генезиса [30]. Слабо выраженная отрицательная Eu-аномалия и умеренно проявленная положительная Ce-аномалия характерны для циркона из щелочных пород. Например, подобные спектры были установлены для циркона из сиенитов Рябинового массива Южной Якутии [24]. Единственное отличие, которое характеризует тёмные в BSE участки циркона, это еще более ре-

дуцированная Ce-аномалия (Ce/Ce^* в среднем составляет 3,48, в сравнении с 9,81 для светлых участков, табл. 2) и выположенный характер спектра REE (отношение Lu_N/La_N составляет в среднем 174 и 1150, соответственно). Ростовая зональность (по сопоставлению состава в точках 1 и 2) в основной части циркона со светло-серым оттенком в BSE не проявлена.

Содержание редких элементов в двух проанализированных точках каймы циркона (точки 7 и 8, табл. 2) значительно отличается. При анализе на ионном зонде в кратер диаметром около 20 мкм заведомо попадает смесь минералов — циркона и замещающих его фаз, точное соотношение которых учесть невозможно. Среди новообразованных минералов методом электронной микроскопии были достоверно диагностированы: бадделлит, рутил, флоренсит. Однако нельзя исключать присутствие иных по составу микровключений. Состав точки 7 незначительно отличается по содержанию редких элементов от точек циркона, не затронутых преобразованием (точки 1–4, табл. 2). Необходимо отметить умеренное повышение содержания Y, Hf, Th и U в точке 7. Спектр распределения REE в точке 7 в значительной степени совпадает со спектрами распределения REE в других точках циркона. Известно, что рутил практически не содержит REE; бадделлит, как правило, содержит меньшее, чем циркон, количество REE (данные С.Г. Скублова и др., [22]); а флоренсит содержит в своем составе преимущественно легкие REE, что непременно будет заметно при построении спектров REE. Поэтому идентичность спектров REE в кайме и внутренней части циркона можно объяснить либо незначительным количеством новообразованных минералов в точке 7, либо эффектом наследования «чуждого» распределения редких элементов, наблюдаемом при метасоматическом замещении одного минерала другим [16]. В последнем случае новообразованные бадделлит и флоренсит (?), неравновесно замещая циркон, наследуют входящие в циркон элементы-примеси, «не успевая» привести их количество в соответствие с закономерным для новообразованных минералов уровнем содержания этих элементов-примесей.

Кайма циркона в точке 8 (рис. 1) отличается резко повышенным содержанием REE (особенно LREE), Y, Nb, Ca, Ti. Естественно, что анализ в точке 8 является интегрированным для исходного циркона и новообразованных фаз, среди которых диагностированы бадделлит, рутил, флоренсит и допускается наличие микровключений других минералов. Повышенное содержание Ti (до 10,4 мас. %, табл. 2) и Nb (до 1,1 мас. %) можно объяснить образованием ниобиевого рутила, характерного для рудопроявления Ичетью [6, 9]. Аномально повышенное содержание других несовместимых для циркона элементов в кайме циркона требует их

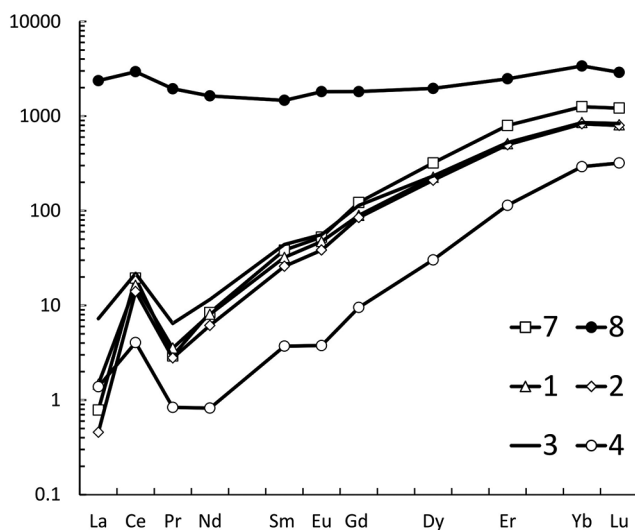


Рис. 3. Спектры распределения REE, нормированные на состав хондрита CI, для циркона (точки 1–7) и продукта его преобразования (точка 8)

стороннего источника, например, поступления с флюидом. Так, суммарное содержание REE в точке 8 больше в 20 раз, чем в исходном цирконе, Y — в 6,5 раз, Ca — почти в 40 раз. Содержание Th и U также заметно увеличивается. Особенно стоит отметить увеличение как в точке 8, так и в точке 7, содержания Hf — инертного при преобразованиях циркона элемента [1]. В точках 1—4 содержание Hf составляет в среднем 3930 ppm, в точках 7 и 8 — 5650 ppm (табл. 2). Такое низкое содержание Hf в исходном цирконе предполагает его поступление из щелочных или щелочно-ультраосновных пород, что согласуется с предположением о лампрофирах как источнике рудного вещества для рудопроявления Ичетью [8, 10].

Прежде чем перейти к обсуждению процессов, ответственных за преобразование циркона в бадделит с явно выраженным увеличением содержания несовместимых, в особенности высокозарядных, элементов, рассмотрим наиболее типичные случаи взаимоотношения главных минералов циркония — циркона и бадделеита. Как отмечалось выше, их совместное присутствие, особенно ростовое взаимоотношение, достаточно редко встречаются в природе [27]. В отличие от циркона, который кристаллизуется в горных породах широкого спектра (за исключением ультрабазитов, как полагает ряд исследователей), бадделит кристаллизуется в породах, недосыщенных кремнеземом — ультраосновных и части основных пород, а также в щелочных и щелочно-ультраосновных породах [3].

Среди ростовых взаимоотношений бадделеита и циркона наиболее часто встречается ситуация, когда бадделит замещается цирконом. Этот процесс описывается реакцией $ZrO_2 + SiO_2 = ZrSiO_4$ и проявляется при метаморфизме и воздействии на породу флюидов, привносящих кремнезем. При этом происходит реакционное замещение, от частично до полного, бадделеита цирконом. Именно благодаря этому процессу и затруднено использование бадделеита в качестве геохронометра магматических пород [3]. Довольно часто реликты замещённого бадделеита не сохраняются или с трудом диагностируются в составе новообразованного циркона. На рис. 4, а показан сохранившийся реликт бадделеита (чёрный при катодной люминисценции (CL) участок размером 20–5 мкм вблизи вершины обломка зерна циркона) в цирконе из метагаббро района Красной губы в Беломорском подвижном поясе, подвергшийся интенсивному метаморфизму палеопротерозойского возраста [18]. Такие реликты бадделеита были обнаружены только в пяти зёрнах циркона из нескольких десятков выделенных. Замещающий бадделит циркон имеет крайне необычный для циркона магматического и/или метаморфического генезиса облик — мелкозернистую структуру типа сыпи, подчеркнутую разным оттенком составных частей в CL изображении. Та-

кая структура характерна для циркона гидротермально-метасоматического типа [30].

Близкое к паритетному соотношение бадделеита и развивающегося по нему циркона было установлено в карбонатитах Тикшеозерского массива Северной Карелии [22]. Циркон замещает бадделит по трещинам, пронизывающим все зерно бадделеита (рис. 4, б). Наиболее интенсивно замещение проявлено в краевых зонах бадделеита, в которых исходного минерала практически не остается. В правой верхней части рисунка изображен фрагмент зерна бадделеита из тех же карбонатитов, уже практически полностью замещенного цирконом.

Свидетельства обратной реакции, когда бадделит развивается по циркону, крайне редко документированы предшествующими исследованиями. Замещение каймы циркона бадделеитом было установлено в кимберлитах, испытавших мантийный метасоматоз [23, 29, 31]. При этом в размере и ориентировке новообразованного бадделеита наблюдается определенная зональность — в кайме на границе с цирконом бадделит мелкозернистый и хаотично ориентированный, далее — среднезер-

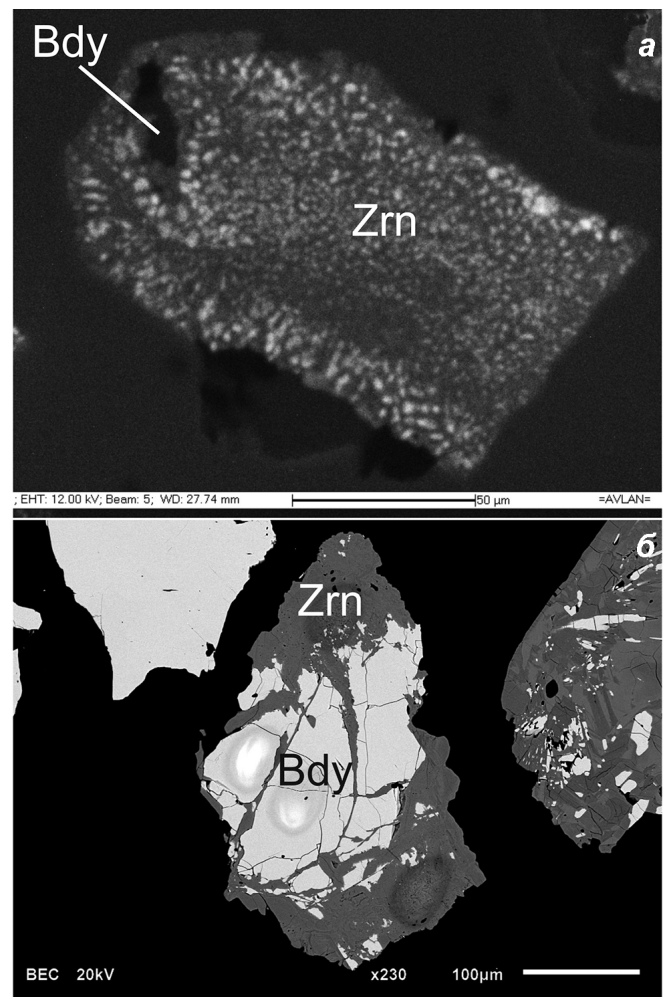


Рис. 4. Примеры преобразования бадделеита в циркон: а — в метагаббро района Красной губы Беломорского подвижного пояса, CL изображение; б — в карбонатитах Тикшеозерского массива Северной Карелии, BSE изображение

нистый бадделеит и ориентированный по удлинению преимущественно перпендикулярно границе с цирконом, на краю каймы размерность бадделеита понижается, ориентировка исчезает. Такая зональность отражает взаимодействие циркона с метасоматизирующим флюидом [29]. Аналогичный характер преобразования циркона в бадделеит был экспериментально воспроизведён при воздействии на циркон щелочных флюидов при T от 600 до 800–900°C [25, 28, 33].

Кристаллизация бадделеита в цирконе из Азовского Zr-REE месторождения в сиенитах, не содержащих нефелин, обусловлена воздействием на циркон силикатного расплава с низким содержанием SiO_2 (43–46 мас. %) и потоками высокотемпературного флюида, содержащего воду и углекислоту [35]. При этом бадделеит образует со стеклом характерные мелкозернистые (не более 5–10 мкм) графические срастания: либо внутри расплавных включений стекла в цирконе, либо в краевой зоне циркона, куда проникал расплав. Поскольку новообразованный бадделеит расположен исключительно в анклавах расплава, сохранившихся в виде стекла внутри кристаллов циркона, то это реакция образования бадделеита несколько отличается от рассмотренных выше, поскольку циркон служил лишь источником циркония, а сама кристаллизация бадделеита происходила уже вне циркона.

Образование бадделеита по циркону, установленное для гранатитов массива Миндяк на Южном Урале [7], авторы связывают с процессами десицикации при родингитизации гранатовых пироксенитов и гранатитов. Детальное изучение позволило авторам установить редкие зёрна, в которых реакция метасоматического замещения циркона бадделеитом и силикатами не прошла до конца. При замещении пластинки бадделеита вырастают с края в кристалл циркона, постепенно замещая его полностью.

Экспериментальные работы, моделирующие рассмотренное выше замещение циркона бадделеитом при образовании родингитов [2], показали, что циркон может замещаться бадделеитом по реакции $\text{Mg}(\text{OH})_2 + \text{ZrSiO}_4 = \text{MgSiO}_3 + \text{ZrO}_2 + \text{H}_2\text{O}$. После выдержки кристаллов циркона в расплаве базальта в течение 2 ч при 1350°C в них образовалась кайма толщиной до 100 мкм, сложенная закономерными срастаниями кристаллов бадделеита и пироксена. Равновесие в этой реакции, по данным авторов, зависит от температуры и парциального давления воды. При 500°C равновесие смещено вправо, при 600°C процесс идёт в обратном направлении [2].

Таким образом, в природных объектах ранее были достоверно задокументированы всего три, отличающиеся по геологической обстановке, находки преобразования циркона в бадделеит. Реакционное взаимоотношение циркона и бадделеита

также было воспроизведено в ряде экспериментальных работ.

При P – T параметрах 2 кбар и 450–750°C экспериментально было установлено инконгруэнтное растворение циркона в кварц-недосыщенном флюиде при варьирующей щелочности флюида от нейтральной до щелочной среды (0; 0.1; 1 m NaOH). При этом растворение циркона сопровождалось образованием на нём каймы бадделеита [25], внешне весьма похожей на кайму, наблюдаемую нами в цирконе из рудопоявления Ичетью. Термодинамические расчёты реакций с использованием констант растворимости циркона, бадделеита и кварца с учетом рН среды, проведённые в [25], избавляют нас от повторных действий и позволяют провести P – T -рН оценку природного процесса образования бадделеита по циркону в проявлении Ичетью.

При более высокотемпературных экспериментах (900°C) и флюиде, содержащем $\text{Ca}(\text{OH})_2$, также было установлено образование включений бадделеита в реакционной зоне между неизменённым и изменённым цирконом [28]. Избыток Са во флюиде приводит к образованию CaSiO_3 , понижающего активность кремнезёма во флюиде, и делает бадделеит стабильным в присутствии циркона и нормативного кварца.

Низкие термодинамические параметры образования бадделеита по циркону при родингитизации гранатовых пироксенитов [7] не согласуются с рассмотренными выше результатами экспериментов. Поэтому образование бадделеита именно при родингитизации не очевидно. Вполне вероятно, что замещение циркона бадделеитом произошло в условиях фазы метаморфизма предшествующей родингитизации. Детальное исследование родингитов в офиолитах Центральных Альп позволило соотнести образование цирконолита (минерала циркония, как и бадделеит, характерного для недосыщенных кремнезёмом пород) по циркону в результате реакции $\text{ZrSiO}_4 + 2\text{FeTiO}_3 + \text{CaMgSi}_2\text{O}_6 = \text{CaTi}_2\text{ZrO}_7 + 3\text{SiO}_2 + \text{MgO} + 2\text{FeO}$ с высокотемпературным умеренно барическим (700°C и 6–7 кбар) метаморфизмом [34]. Экспериментальное моделирование замещения циркона бадделеитом по реакции $\text{Mg}(\text{OH})_2 + \text{ZrSiO}_4 = \text{MgSiO}_3 + \text{ZrO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ [2] вряд ли корректно распространять на процессы родингитизации и серпентинизации, поскольку температура закалки продуктов эксперимента составляла 1350°C, а температурный диапазон равновесия реакции, по данным авторов, соответствует интервалу 500–600°C. При этом известно, что дегидратация брусита проходит при значительно более низкой температуре 380–460°C [4]. Кроме того, полученный в результате эксперимента по реакционному замещению циркона агрегат бадделеита с пироксеном не имеет прямых природных аналогов.

Экспериментальное исследование и термодинамическое моделирование растворимости высокозарядных элементов (в том числе и циркония) в водных флюидах при 890°C и 14 кбар [26] указывает на значительное повышение растворимости циркона при увеличении солёности флюида (в 3 раза) и добавке в раствор 4,5 вес. % альбита (увеличение растворимости циркона в 5 раз).

Таким образом, обзор экспериментальных исследований по реакционным взаимоотношениям циркона и бадделеита и единичных природных аналогов позволяет сделать заключение о том, что наиболее вероятным механизмом преобразования циркона из рудопоявления Ичетью в бадделеит в сростаниях с рутилом и флоренситом было воздействие на циркон высокотемпературных (не менее 500–600°C) щелочных флюидов, транспортирующих высокозарядные элементы (REE, Y, Nb, Ti). Косвенно это подтверждается находками в прояв-

лении Ичетью циркона с аномально высоким содержанием Y и REE до 100000 и 70000 ppm соответственно [14]. Краевые плёночные агрегаты замещения циркона бадделеитом подобны часто встречающимся плёнкам ксенотима на цирконе, вероятно, они образуются при близких P – T параметрах гидротермальных процессов и могут быть использованы как индикаторы и поисковые признаки алмазоносных пород [20]. Уникальная находка преобразования циркона в бадделеит не согласуется с принимаемой до сих пор рядом исследователей россыпной гипотезой образования рудопоявления, но подтверждает точку зрения авторов об участии высокотемпературных флюидов в образовании золотоалмаз-редкоземельно-редкометалльно-титановой минерализации рудопоявления Ичетью.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (гранты 17-35-50003 и 16-05-00125).

ЛИТЕРАТУРА

- Алфимова Н.А., Матреничев В.А., Зингер Т.Ф., Скублов С.Г. Геохимия цирконов из протерозойской коры выветривания гранитоидов Северной Карелии // Докл. РАН. 2011. Т. 438. № 1. С. 101–104.
- Анфилов В.Н., Краснобаев А.А., Рыжков В.М., Вализер П.М. Замещение циркона бадделеитом как возможный механизм образования зональных кристаллов циркона в ультрабазитах // Докл. РАН. 2017. Т. 475. № 6. С. 676–679.
- Баянова Т.Б. Бадделеит — перспективный геохронометр щелочного и базитового магматизма // Петрология. 2006. Т. 14. № 2. С. 203–216.
- Брянчанинова Н.И., Макеев А.Б., Боева Н.М. Возможности современного термографического метода для изучения серпентинитов // V Межд. конф. Ультрамафит-мафитовые комплексы: Геология, строение, рудный потенциал. (Гремячинск 2–6 сентября 2017 г.) Улан-Удэ: Изд-во Бурятского госуниверситета, 2017. С. 65–68.
- Булах А.Г., Золотарёв А.А., Кривовичев В.Г. Структура, изоморфизм, формулы, классификация минералов. СПб.: Изд-во С.-Петербург. ун-та, 2014. 133 с.
- Красоткина А.О., Мачевариани М.М., Королев Н.М., Макеев А.Б., Скублов С.Г. Типоморфные особенности ниобиевого рутила из рудопоявления Ичетью (Средний Тиман) // Записки РМО. 2017. № 2. С. 88–100.
- Кузнецов Д.В., Мукатова А. Образование бадделеита при десицикации циркона в родингитизированных высокобарических гранатитах массива Миндяк на Южном Урале // ЕЖЕГОДНИК-2012, Тр. ИГГ УрО РАН. 2013. Вып. 160. С. 224–228.
- Макеев А.Б. Типоморфные особенности минералов титановых руд Пижемского месторождения // Минералогия. 2016. № 1. С. 24–49.
- Макеев А.Б., Борисовский С.Е. Типоморфизм и источники титановых и ниобиевых минералов проявления Ичетью, Средний Тиман // Изв. вузов. Геология и разведка. 2013. № 2. С. 30–37.
- Макеев А.Б., Брянчанинова Н.И. Лампрофиты Тимана // Региональная геология и металлогения. 2009. № 37. С. 51–73.
- Макеев А.Б., Вирюс А.А. Монацит проявления Ичетью (состав, морфология, возраст) // Изв. вузов. Геология и разведка. 2013. № 3. С. 10–15.
- Макеев А.Б., Дудар В.А. Минералогия алмазов Тимана. СПб.: Наука, 2001. 336 с.
- Макеев А.Б., Красоткина А.О., Скублов С.Г. Геохимия и U–Pb возраст циркона Пижемского титанового месторождения (Средний Тиман) // Вестник ИГ Коми НЦ УрО РАН. 2016. № 5. С. 3–17.
- Макеев А.Б., Скублов С.Г. Иттриево-редкоземельные цирконы Тимана: геохимия и промышленное значение // Геохимия. 2016. № 9. С. 821–828.
- Макеев Б.А., Макеев А.Б. Редкоземельные и стронциевые алюмофосфаты Вольско-Вымской гряды (Средний Тиман) // Записки РМО. 2010. № 3. С. 95–102.
- Скублов С.Г. Геохимия редкоземельных элементов в породообразующих метаморфических минералах. СПб.: Наука, 2005. 147 с.
- Скублов С.Г., Красоткина А.О., Макеев А.Б., Галанкина О.Л., Мельник А.Е. Уникальная находка преобразования циркона в бадделеит (рудопоявление Ичетью, Средний Тиман) // Материалы Юбилейного съезда Российского минералогического общества «200 лет РМО». СПб., 2017. Т. 1. С. 313–315.
- Скублов С.Г., Мельник А.Е., Марин Ю.Б., Березин А.В., Богомолов Е.С., Ишмурзин Ф.И. Новые данные о возрасте (U–Pb, Sm–Nd) метаморфизма и протолита эклогитоподобных пород района Красной губы, Беломорский пояс // Докл. РАН. 2013. Т. 453. № 3. С. 319–325.
- Скублов С.Г., Седова И.С., Глебовицкий В.А., Гембицкая И.М., Саморукова Л.М. Особенности геохимии цирконов из мигматитов Нимырьского блока Алданского щита // Геохимия. 2010. № 12. С. 1320–1329.
- Соболев В.К., Макеев А.Б., Кисель С.И., Брянчанинова Н.И., Филиппов В.Н. Новые индикаторные признаки пород, вмещающих кимберлиты. Сыктывкар: Геопринт, 2003. 60 с.
- Федотова А.А., Бибикина Е.В., Симакин С.Г. Геохимия циркона (данные ионного микрозонда) как индикатор генезиса минерала при геохронологических исследованиях // Геохимия. 2008. № 9. С. 980–997.
- Францц Н.А., Скублов С.Г., Родионов Н.В., Лохов К.И. Минералы циркония в карбонатах Тикшеозерского массива (Северная Карелия) // XXX Международная конференция «Рудный потенциал щелочного, кимберлитового и карбонатитового магматизма», Школа «Щелочной магматизм Земли». Москва, 16–17 сентября 2013. М.: ГЕОХИ РАН, 2013. С. 25.
- Цымбал С.Н., Кременецкий А.А., Соболев В.Б., Цымбал Ю.С. Минералы циркония из кимберлитов Новолапшинских трубки и дайки (юго-восток Украинского щита) // Минерал. журн. 2011. Т. 33. № 1. С. 41–62.
- Шатова Н.В., Скублов С.Г., Мельник А.Е., Шатов В.В., Молчанов А.В., Терехов А.В., Сергеев С.А. Геохронология щелочных магматических пород и метасоматитов Рябинового массива (Южная Якутия) на основе изотопно-геохимического (U–Pb, REE) исследования циркона // Региональная геология и металлогения. 2017. № 69. С. 33–48.
- Ayers J.C., Zhang L., Luo Y., Peters T.J. Zircon solubility in alkaline aqueous fluids at upper crustal conditions // Geochim. Cosmochim. Acta. 2012. Vol. 96. P. 18–28.

26. Bernini D., Audetat A., Dolejs D., Keppler H. Zircon solubility in aqueous fluids at high temperatures and pressures // *Geochim. Cosmochim. Acta*. 2013. Vol. 119. P. 178–187.
27. Harlov D. Fluids and geochronometers: charting and dating mass transfer during metasomatism and metamorphism // *J. Indian Inst. Sci.* 2015. Vol. 95. P. 109–124.
28. Harlov D.E., Lewerentz A., Schersten A. Alteration of zircon in alkaline fluids: Nature and experiment // *Goldschmidt 2012 Conference Abstracts. Mineral. Mag.* 2012. Vol. 76. P. 1813.
29. Heaman L.M., LeCheminant A.N. Paragenesis and U-Pb systematics of baddeleyite (ZrO_2) // *Chem. Geol.* 1993. Vol. 110. P. 95–126.
30. Hoskin P.W.O., Schaltegger U. The composition of zircon and igneous and metamorphic petrogenesis // *Rev. Min. Geochem.* 2003. Vol. 53. P. 27–62.
31. Kinny P.D., Dawson J.B. A mantle metasomatic injection event linked to late Cretaceous kimberlite magmatism // *Nature*. 1992. Vol. 360. P. 726–728.
32. McDonough W.F., Sun S.-S. The composition of the Earth // *Chem Geol.* 1995. Vol. 120. P. 223–253.
33. Rizvanova N.G., Levchenkov O.A., Belous A.E., Bezmen N.I., Maslenikov A.V., Komarov A.N., Makeev A.F., Levskiy L.K. Zircon reaction and stability of the U-Pb isotope system during interaction with carbonate fluid: experimental hydrothermal study // *Contrib. Mineral. Petrol.* 2000. Vol. 139. P. 101–114.
34. Stucki A., Trommsdorff V., Gunther D. Zirconolite in metaroddingites of Penninic Mesozoic ophiolites, Central Alps. Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt. 2001. Band 81. P. 257–265.
35. Voznyak D.K., Chernysh D.S., Melnikov V.S., Ostapenko S.S. Baddeleyite segregations in zircon of the Azov zirconium-rare-earth deposit (Ukrainian Shield) // *Mineralogia*. 2013. Vol. 44. P. 125–131.

ГИДРОГЕОЛОГИЯ И ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ

УДК 556.3

**МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ ВОДОНОСНЫХ ГОРИЗОНТОВ
ПО ДАННЫМ ОПЫТНО-ФИЛЬТРАЦИОННЫХ РАБОТ
В УСЛОВИЯХ ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ СВЯЗИ**

А.В. МАЛКОВ¹, И.М. ПЕРШИН², И.С. ПОМЕЛЯЙКО¹

¹ООО «Нарзан-гидроресурсы»,
43, Кирова ул., Кисловодск 357700, Ставропольский край, Россия
e-mail: Anatol.Malkov@yandex.ru

²Северо-Кавказский федеральный университет, филиал г. Пятигорск,
56, 40 лет Октября ул., Пятигорск, Ставропольский край, 357500, Россия
e-mail: ivmp@yandex.ru

Предложена методика определения гидродинамических параметров в условиях гидравлической связи водоносных горизонтов. Тестовым моделированием показано, что существующие методы определения параметра перетекания (Тейс, Джейкоб, Хантуш) дают существенные погрешности. Они могут применяться только при тех допущениях, которые приняты при выводе известных расчетных зависимостей. Показано, что точность определения параметра перетекания во многом определяется соотношением водоотдачи изучаемого водоносного горизонта и смежного, являющегося источником дополнительного питания. Для целого круга задач, когда речь идет о поступлении некачественных загрязненных вод из горизонта-донора или при изучении динамики кондиционного состава минеральных вод, процессы перетекания могут являться определяющим фактором. Предлагаемая методика свободна от этих недостатков, но требует проведения цикла кустовых опытно-фильтрационных работ по всем взаимодействующим водоносным горизонтам.

Ключевые слова: опытно-фильтрационные работы; водопроводимость; водоотдача; параметр перетекания; понижение уровня; кустовая откачка.

**A METHOD OF ESTIMATION THE PARAMETERS OF THE AQUIFERS BASED
ON THE DATA OF TESTING FILTRATION WORKS UNDER CONDITIONS
OF HYDRAULIC COUPLING**

A.V. MALKOV¹, I.M. PERSHIN², I.S. POMELYAYKO¹

¹Limited Liability Company «Narzan-hydroresources»
43 Kirov street, Kislovodsk 357700, Russia
e-mail: Anatol.Malkov@yandex.ru

²North-Caucasian Federal University, a branch of Pyatigorsk
56 avenue of the 40 years of October, Pyatigorsk 357500, Stavropol Territory, Russia
e-mail: ivmp@yandex.ru

The paper proposes a technique for determining the hydrodynamic parameters under conditions of the hydraulic coupling of the aquifers. A test modeling has shown that the existing methods of determining the flow parameter (Teys, Jacob, Hantush) give significant errors. They can be used only under the assumptions that are made in the derivation of the known calculated dependencies. The accuracy of the determining the overflow parameter has been shown to be largely determined by the ratio of the water loss of the aquifer under study and the adjacent one, which is a source of additional nutrition. For a whole range of tasks, such as income of the poor-quality polluted waters from the donor horizon or studying the dynamics of the mineral water conditioning composition, the processes of overflow can be a determining factor. The proposed technique is free from these shortcomings, but requires a cycle of cluster testing filtration work on all interacting aquifers.

Key words: testing filtration work; water conductivity; water recoil; the flow parameter; lowering of the level; cluster pumping.

Водоупорные отложения, разделяющие толщу обводнённых горных пород на более или менее самостоятельные водоносные горизонты в той или иной степени являются водопроницаемыми, и количественно оцениваются параметром перетекания. Во многих задачах водоносные горизонты можно принимать как изолированные в разрезе, однако существует довольно большой круг задач, когда такие допущения принимать нельзя. Как пример можно привести случаи, когда эксплуатируемый водоносный горизонт перекрывается в кровле грунтовым, санитарно-гигиеническое состояние которого не соответствует требованиям безопасности, или же месторождения минеральных вод, для которых кондиционный состав является определяющим. Игнорирование процессов перетекания в таких случаях может привести к очень серьёзным просчётам.

В настоящее время известны два метода определения параметра перетекания: метод эталонной кривой Тейса-Джейкоба [1, 3] и графоаналитический метод Хантуша. Оба метода достаточно подробно изложены в литературных источниках и не требуют каких-либо комментариев. Единственное, что требуется уточнить, — это принятые при выводе уравнений допущения. Известные расчётные зависимости приняты для условий, когда понижение уровня в горизонте-доноре (горизонт № 1) остаётся постоянным, или весьма незначительным, а откачка воды производится из второго горизонта. Расчётная схема для указанных решений представлена на рис. 1.

Решение Тейса для указанной схемы [1, 3] имеет вид:

$$S = \frac{Q}{4 km} W(u, r/B), \quad (1)$$

где $W(u, r/B)$ — так называемая функция колодца, которая затабулирована во многих литературных источниках; S — понижение уровня в наблюдаемой точке, удалённой от возмущающей скважины на расстояние r ; $u = r^2/4a^*t$; $B = \sqrt{a/b}$. Здесь все параметры — есть параметры второго горизонта.

При выполнении условий $0,1, r/B \leq 0,2$, выражение (1) может быть представлено в следующем виде [4–6]:

$$S = \frac{0,183 Q}{km} \lg \frac{2,25 a t}{r^2 (1 + 1,78 \frac{b}{a})}, \quad (2)$$

где a^* — упругая водоотдача пласта; b — параметр перетекания.

Для определения параметров по (2), можно использовать сочетание графоаналитического метода и метода подбора [5, 6].

Н.Н. Лапшиным [2] с помощью тестового моделирования было показано, что уравнение (1) может быть использовано для условий, когда соотношение проницаемости изучаемого горизонта и горизонта-донора меняется в диапазоне от 0,1 до 10. Это действительно справедливо, но только для оценки параметров водопроводимости и водоотдачи изучаемого горизонта. Что касается параметра перетекания, то здесь все сложнее. Дело в том, что оценка параметра перетекания во многом зависит от соотношения водоотдачи гидравлически связанных водоносных горизонтов. По результатам тестового моделирования для самых различных соотношений параметров установлено, что расчётные зависимости (1, 2) справедливы практически только для тех допущений, которые были приняты при

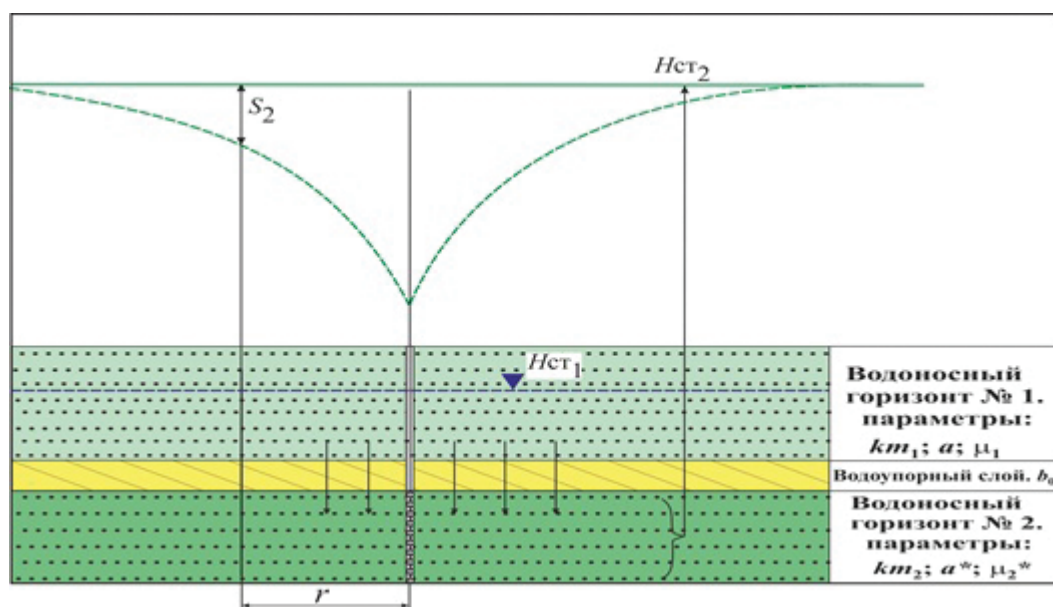


Рис. 1. Расчётная схема

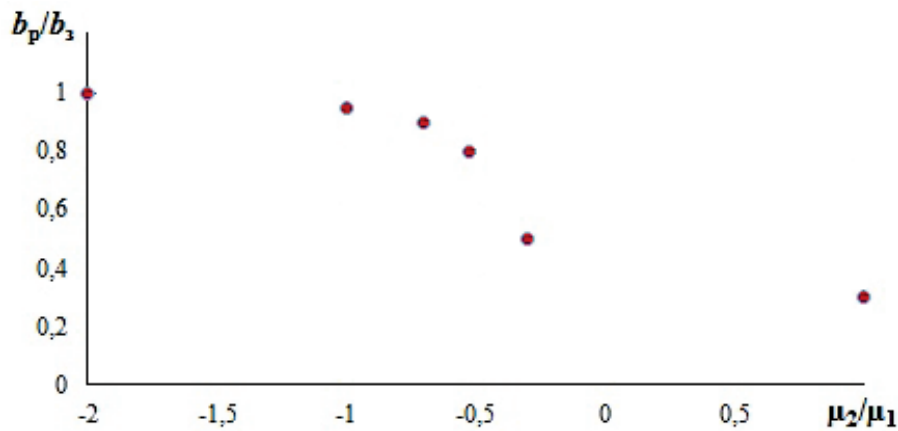


Рис. 2. Соотношение расчётного (b_p) и заданного (b_3) параметра перетекания от соотношения водоотдач

выводе уравнений. Таким образом, водоотдача горизонта-донора значительно больше таковой изучаемого горизонта из которого производится откачка, и понижением в нем можно пренебречь. Как пример, на рис. 2 представлены результаты тестового моделирования для различных соотношений водоотдачи водоносных горизонтов. Как следует из рис. 2, представленные выше зависимости можно использовать при условии, что соотношение водоотдачи горизонтов $\mu_2/\mu_1 < 0,3$. В этом случае погрешность в расчетах не будет превышать 20 %.

В случае, если в горизонте-доноре происходит снижение уровня в процессе откачки, известное решение [1, 2], при допущении $a_1^* = a_2^* = a^*$, имеет вид:

$$\begin{aligned} S_1 &= \frac{Q_2^* b_1}{2(b_1 b_2)} [E_i(\dots)] - \frac{Q_2^* b_1}{2(b_1 b_2)} W; \frac{r}{B} \\ S_2 &= \frac{Q_2^* b_1}{2(b_1 b_2)} [E_i(\dots)] - \frac{Q_2^* b_2}{2(b_1 b_2)} W; \frac{r}{B} \end{aligned}, \quad (3)$$

где $Q_2^* = \frac{Q_2}{4 km_2}$; $b_1 = \frac{b_0}{1}$; $b_2 = \frac{b_0}{2}$; $B = \sqrt{\frac{a^*}{b_1 b_2}}$;

$$\frac{r^2}{4a^* t}.$$

Расчётная схема для данного случая представлена на рис. 3.

Очевидно, что для данного случая необходимо иметь наблюдательные скважины на оба водоносных горизонта.

Из (3) разница в понижениях уровня двух водоносных горизонтов равна:

$$S_2 - S_1 = \frac{Q_2}{4 km_2} W; \frac{r}{B}. \quad (4)$$

При $0,1; r/B \leq 0,2$ уравнение (4) переписывается в виде:

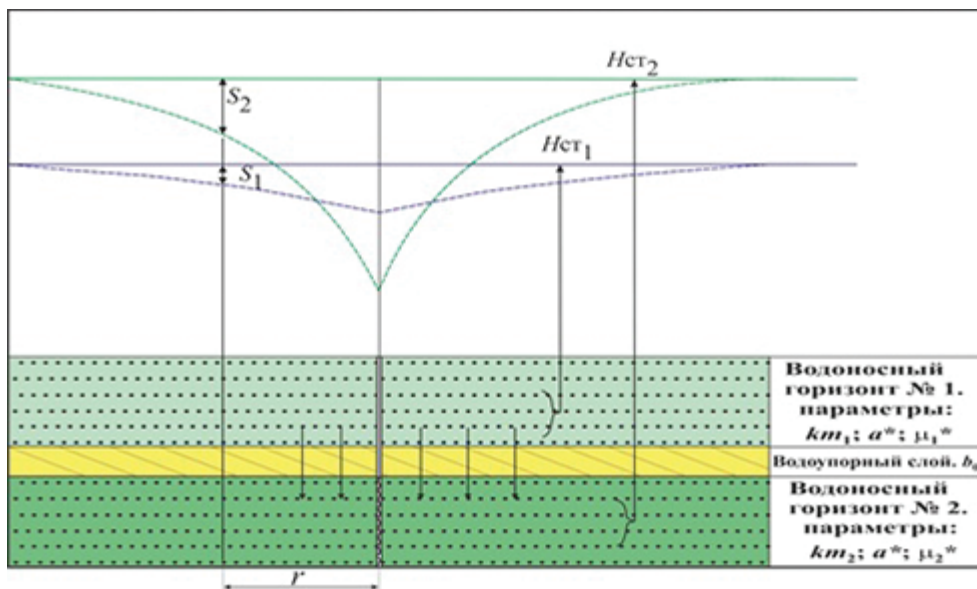


Рис. 3. Расчётная схема

$$S_2 - S_1 = \frac{Q_2}{4 km_2} \ln \frac{2,25 a^* t}{r^2 (1 - 1,78(b_1/b_2))} \quad (4)$$

$$\frac{Q_2}{4 km_2} \ln \frac{2,25 a^* t}{r^2 (1 - 1,78 \frac{b_0}{b_2})}$$

или

$$S_2 - S_1 = \frac{0,183 Q_2}{km_2} \lg \frac{2,25 a^* t}{r^2} - \frac{0,183 Q_2}{km_2} \lg(t) \quad (5)$$

$$\frac{0,183 Q_2}{km_2} \lg \left(1 - 1,78 \frac{b_0}{b_2} \right) t,$$

где $1 - \frac{2}{1} \frac{b_0}{b_2}$.

Нетрудно заметить, что в уравнении (5) первые два члена в правой части представляют собой процесс понижения уровня, который происходит в изолированном неограниченном водоносном горизонте по схеме Тейса-Джейкоба. Третий член есть некоторая функция, связанная с перетеканием. Введя обозначения, будем иметь:

$$S_2 - S_1 = A + C \lg(t) - C \lg(1 - G t), \quad (6)$$

где

$$A = \frac{0,183 Q_2}{km_2} \lg \frac{2,25 a^*}{r^2}; C = \frac{0,183 Q_2}{km_2}; G = \frac{1,78 b_0}{2}$$

или

$$S^* = G t, \text{ где } S^* = 10^{\frac{(A+C \lg(t)-S_2+S_1)}{C}}. \quad (7)$$

Уравнение (7) в координатах $S^* - t$ есть прямая линия, выходящая из начала координат с угловым коэффициентом, равным обобщённому параметру (G).

Как следует из описания, для интерпретации материала опытно-фильтрационных работ, необ-

Таблица 1

Параметры горизонтов принятые при моделировании

Номер горизонта	km , м ² /сут.	*	a^* , м ² /сут.	b , сут ⁻¹	Q , м ³ /сут.
1	20	0,001	20000	0,0001	0
2	60	0,001	60000		1000

Таблица 2

Результаты моделирования ОФР

t , сут.	$Lg(t)$	S_1	S_2	S^*
0,2	-0,699	0,03	3,72	-0,03
0,4	-0,398	0,08	4,62	0,01
0,5	-0,301	0,10	4,91	0,03
0,7	-0,155	0,14	5,33	0,08
1,0	0,000	0,20	5,77	0,15
1,5	0,176	0,29	6,25	0,28
2,0	0,301	0,38	6,58	0,42
3,0	0,477	0,55	6,96	0,81
5,0	0,699	0,85	7,50	1,51
7,0	0,845	1,10	7,82	2,32
9,0	0,954	1,32	8,04	3,27
11,0	1,041	1,51	8,22	4,26
13,0	1,114	1,67	8,36	5,32
17,0	1,230	1,95	8,59	7,59
21,0	1,322	2,17	8,76	10,02

ходимо знание водоотдачи обоих водоносных горизонтов, в связи с чем кустовые откачки необходимо проводить по обоим водоносным горизонтам.

Как пример расчёта ниже приводится применение указанной методики по данным тестового моделирования. Моделирование проводилось в программе Mod-Tech при параметрах, представленных в табл. 1.

Радиус от возмущающей скважины до наблюдательных 40 м. Информация (в сокращении) о результатах моделирования опытно-фильтрационных работ (ОФР) дана в табл. 2.

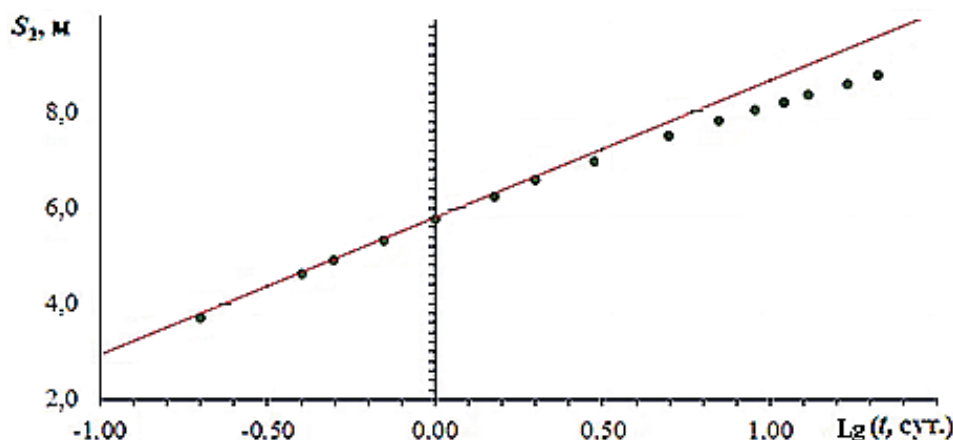


Рис. 4. График временного прослеживания по наблюдательной скважине, каптирующей рабочий (второй) водоносный горизонт

Здесь же представлены расчёты обобщенного параметра S^* .

На рис. 4 изображен график временного прослеживания по наблюдательной скважине, каптующей основной рабочий горизонт в координатах S_2 $Lg(t)$. Прямая линия, проведённая по начальным точкам, характеризует процесс формирования понижения уровня в отсутствии перетекания. По этой линии можно определить параметры изучаемого водоносного горизонта (водопроницаемость, упругую водоотдачу, пьезопроводность). Угловой коэффициент линии (C) равен 3,0; начальная ордината (A) — 5,8 м.

Расчетные значения параметров второго водоносного горизонта равны:

$$km \frac{0,183 Q_2}{C} \frac{0,183 1000}{3,0} 61,0 \text{ м}^2/\text{сут.}$$

$$a^* \frac{10^{A/C}}{2,25} r^2 \frac{10^{5,8/3}}{2,25} 40^2 61000 \text{ м}^2/\text{сут.}$$

$$\frac{km}{a^*} \frac{61}{61000} 0,001.$$

Как следует из расчётов, сходимость результатов очень хорошая. Для определения параметра перетекания (b) необходимо построение графика в координатах $S^* - t$. Такой график изображён на рис. 5.

Из рис. 5. следует, что обобщенный параметр (G) равен 0,43. Тогда коэффициент перетекания (b) найдётся из соотношения ($\alpha = 2,0$):

$$b_0 \frac{G}{1,78} \frac{0,43}{1,78} \frac{0,0001}{2} 0,00012 \text{ сут.}^{-1}$$

Из расчётов следует, что модельные и полученные расчётным путём параметры водоносного горизонта и параметра перетекания, очень близки. Такие расчёты были проведены для большого диапазона параметров водоносных горизонтов. Расчёты показывают, что достаточно точное определение параметра перетекания по данной методике может быть выполнено при условии, что соотношение водоотдачи водоносных горизонтов находится в диапазоне $\alpha < 5,0$. При таком соотношении, погрешность в определении параметра перетекания не превысит 20 %. Это видно из табл. 3, куда сведены результаты расчётов тестового моделирования. Как видно, расхождения между заданными ($b_{\text{задано}}$) и расчётными ($b_{\text{расч.}}$) параметрами при выполнении указанного условия незначительны.

Из табл. 3, следует также, что при $\alpha > 5,0$, погрешность в определении параметра перетекания достигает 40 % и более. В этом случае следует производить определение его по откачке из горизонта, водоотдача которого минимальна.

Как пример, для случая № 6 (табл. 3), имеющего наибольшую погрешность, обработана откачка из первого горизонта при тех же фильтрационных параметрах.

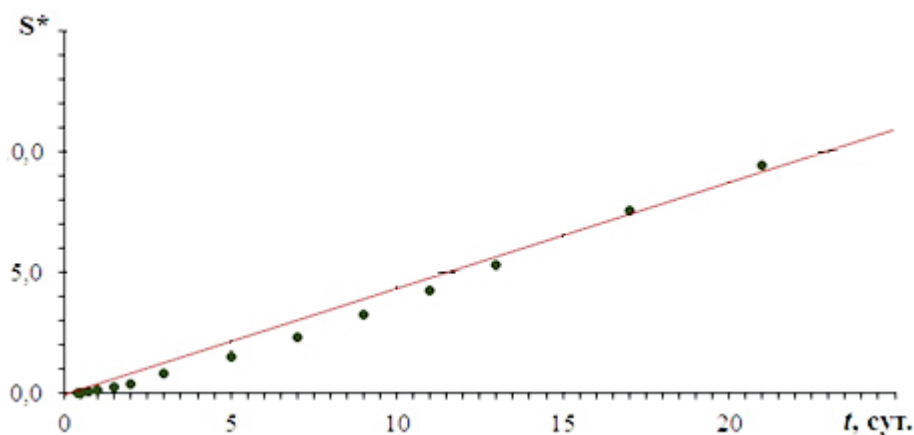


Рис. 5. График для определения комплексного параметра G

Таблица 3

Зависимость погрешности (%) при определении параметра b от

Номер	α_1	α_2	a_1	a_2	$\alpha = 1 + \frac{\alpha_2}{\alpha_1}$	$b_{\text{зад.}}$	$b_{\text{расч.}}$	$\delta, \%$
1	0,1	0,0010	200	60000	1,01	0,00010	0,000095	5,0
2	0,01	0,0010	2000	60000	1,10	0,00010	0,000106	6,0
3	0,001	0,0010	20000	60000	2,00	0,00010	0,000121	21,0
4	0,0005	0,0010	40000	60000	3,00	0,00010	0,000103	3,0
5	0,0002	0,0010	100000	60000	6,00	0,00010	0,000059	41,0
6	0,0001	0,0010	200000	60000	11,00	0,00010	0,000033	67,0

Таблица 4

Результаты тестового моделирования

t , сут	$Lg(t)$	S_1	S_2	S^*
0,2	-0,699	15,21	0,12	-0,05
0,4	-0,398	17,38	0,24	0,05
0,5	-0,301	17,98	0,29	0,12
0,7	-0,155	18,76	0,40	0,30
1,0	0,000	19,43	0,54	0,59
1,5	0,176	19,99	0,74	1,15
2,0	0,301	20,29	0,92	1,77
3,0	0,477	20,61	1,20	3,11
5,0	0,699	20,95	1,60	5,96
7,0	0,845	21,19	1,89	8,89
9,0	0,954	21,38	2,11	11,82
11,0	1,041	21,54	2,30	14,81
13,0	1,114	21,68	2,45	17,74
17,0	1,230	21,90	2,70	23,71
21,0	1,322	22,09	2,91	29,71

Результаты тестового моделирования представлены в табл. 4. Графическая интерпретация результатов моделирования изображена на рис. 6.

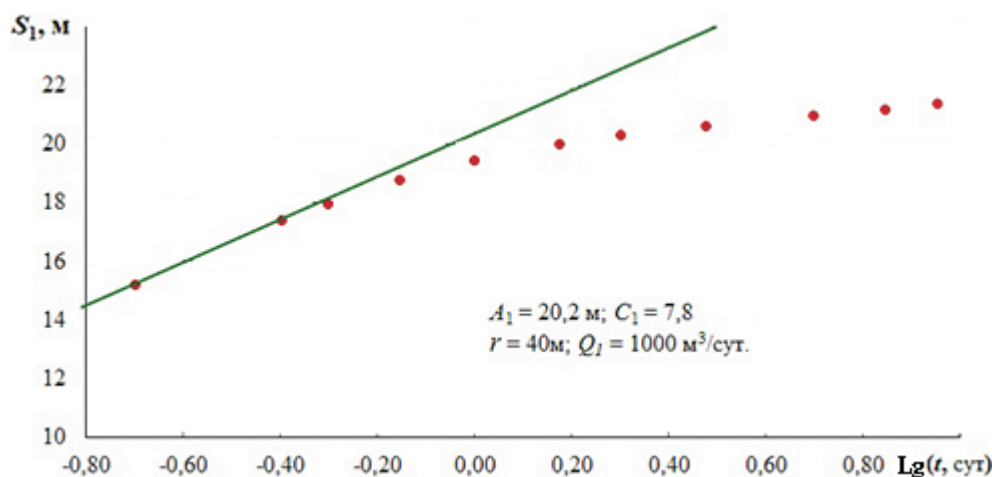
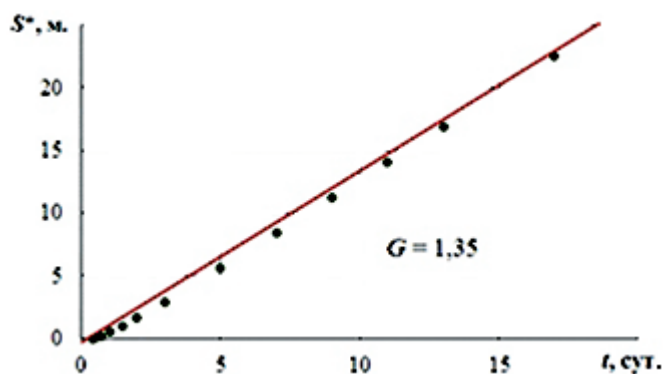


Рис. 6. График временного прослеживания. Тестовое моделирование

Вспомогательный график для определения параметра перетекания представлен на рис. 7.

Рис. 7. График для определения комплексного параметра G

Расчётные значения параметров второго водоносного горизонта равны:

$$km \frac{0,183 Q_1}{C_1} \frac{0,183 1000}{7,8} 23,46 \text{ м}^2/\text{сут.},$$

$$a^* \frac{10^{A/C}}{2,25} r^2 \frac{10^{20,2/7,8}}{2,25} 40^2 238000 \text{ м}^2/\text{сут.},$$

$$\frac{km}{a^*} \frac{23,46}{238000} 0,000098.$$

Параметр перетекания равен:

$$b_0 \frac{G}{1,78} \frac{1,35}{1,78} \frac{0,000098}{1,1} 0,00007 \text{ сут.}^{-1}$$

Следовательно, сходимость результатов также достаточно высокая.

Более сложный случай, когда водоносная толща сложена тремя водоносными горизонтами. Строгое решение для данной задачи имеется, например у И.А. Чарного [7], однако оно имеет такой сложный вид, что его тяжело использовать даже для анализа процесса, не говоря о разработке методики.

Здесь можно предложить приём, позволяющий на основе предлагаемой методики оценить параметры перетекания и для трёхслойной системы. Схема изучения водоносных горизонтов не меняется. Также выполняются кустовые откачки по всем горизонтам, но для определения параметра перетекания используются откачки из первого и третьего водоносных горизонтов.

Таким образом, можно утверждать следующее.

1. Существующие методы определения параметра перетекания по данным ОФР имеют узкий диапазон применения.

2. Для более точного определения параметра перетекания необходимо проведение кустовой откачки для обоих водоносных горизонтов.

3. Точность определения параметра перетекания определяется не только соотношением пьезо-

проводности. В большей степени она определяется соотношением водоотдачи гидравлически связанных водоносных горизонтов.

4. Область применения предлагаемой методики ограничивается соотношением водоотдачи горизонтов $< 5,0$. Учитывая наличие вертикальной фильтрационной зональности, это условие будет выполняться в подавляющем большинстве случаев.

5. При условии $> 5,0$ определение параметра перетекания следует определять по ОФР из горизонта с более низким значением водоотдачи.

6. При трёхслойной водоносной толще обработка данных опытно-фильтрационных работ для определения параметров перетекания между первым и вторым, вторым и третьим водоносными горизонтами не меняется, но для интерпретации следует использовать ОФР по первому и третьему водоносным горизонтам.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бочеввер Ф.М. Теория и практические методы гидрогеологических расчетов эксплуатационных запасов подземных вод. М.: Недра, 1968. 325 с.
2. Бочеввер Ф.М., Лапшин Н.Н. К вопросу о гидрогеологических расчетах скважин в слоистых толщах. ВОДГЕО, Гидрогеология, вып. 14, 1968.
3. Де Уист. Гидрогеология с основами гидрологии суши М.: Мир, 1969. 294 с.
4. Кисловодское месторождение углекислых минеральных вод: Системный анализ, диагностика, прогноз, управление/ А.В. Малков, И.М. Першин, И.С. Помеляйко и др. М.: Наука, 2015. 283 с.
5. Малков А.В. Гидравлический метод оценки эксплуатационных запасов подземных вод // Разведка и охрана недр. 2009. № 11. С. 45–50.
6. Малков А.В. Определение гидродинамических параметров водоносных горизонтов в условиях перетекания // Известия вузов. Геология и разведка. 2007. № 1. С. 31–34.
7. Чарный И.А. Фильтрация в пласте с непроницаемыми кровлей и подошвой, разделенном слабопроницаемой перемычкой // Труды МИНХ и ГП им. Губкина. Вып. 33. М.: Гостоптехиздат, 1961. С. 122–130.

УДК 550.4; 556.3; 551.311.8

УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД В ДЕЛЬТЕ МЕКОНГА (ВЬЕТНАМ) ПО ДАННЫМ ИЗУЧЕНИЯ ИЗОТОПНОГО СОСТАВА КИСЛОРОДА И ВОДОРОДА

ЛАМ ХОАНГ КУОК ВЬЕТ¹, А.Б. ЛИСЕНКОВ¹, В.Ю. ЛАВРУШИН²

¹Российский государственный геологоразведочный университет
23, Миклухо-Маклая ул., Москва 117997, Россия
e-mail: lamviet2906@gmail.com, Lisenkov.rsgpu@mail.ru

²Геологический институт РАН,
7, Пыжевский пер., Москва 119017, Россия
e-mail: v_lavrushin@ginras.ru

Формирование подземных вод дельты Меконга является сложной проблемой, которая до настоящего времени не имеет однозначного решения. Это накладывает ограничения на условия эксплуатации подземных вод. В водоносных горизонтах дельты Меконга присутствуют как пресные, так и минерализованные воды, распределение которых имеет сложный характер. Считается, что минерализованные воды имеют седиментогенный генезис (захоронённые морские воды), а пресные — инфильтрационный. Изучение стабильных изотопов кислорода и водорода в подземных водах дельты Меконга показало, что подземные воды формируются в основном за счёт инфильтрации метеорных вод. Кроме того, значимым фактором образования подземных вод в средне-, нижнеплиоценовых и миоценовых водоносных горизонтах является смешение атмосферных и морских вод. Уменьшение значений стабильных изотопов с увеличением глубины залегания подземных вод связано с тем, что области питания глубоко залегающих водоносных горизонтов располагаются выше по абсолютным отметкам и более удалены от береговой линии. Результаты исследований позволяют оптимизировать схему эксплуатации водозаборов подземных вод, создать условия для ограничения вторжения солёных морских вод в пределы эксплуатируемых водоносных горизонтов.

Ключевые слова: стабильные изотопы; подземные воды; изотоп ^{18}O ; дейтерий; концентрация хлора.

FORMATION CONDITIONS OF GROUNDWATER IN THE MEKONG DELTA (VIETNAM) BASED ON ISOTOPES RESEARCH OF OXYGEN AND HYDROGEN IN WATER

LAM HOANG QUOC VIET¹, A.B. LISENKOV¹, V.J. LAVRUSHIN²

¹Russian State Geological Prospecting University
23 Miklouho-Maklay's street, Moscow 117997, Russia
e-mail: lamviet2906@gmail.com, Lisenkov.rsgpu@mail.ru

²Geological Institute RAS
7 Pyzhevsky lane, Moscow 119017, Russia
e-mail: v_lavrushin@ginras.ru

The origin and formation of the groundwater in the Mekong Delta are the complex problem, which has not one solution nowadays. So the exploitation scheme still has many limitations. In the aquifers of the Mekong Delta there are both fresh water and mineralized water, which are very complex and heterogeneous in the distribution. The mineralized water has been considered to have sedimentogenous genesis (buried seawater), and freshwater has been believed to originate from infiltration of meteoric water. Studying of the stable isotopes of oxygen and hydrogen of the groundwater in the Mekong Delta has shown that the groundwater originates mainly from the infiltration of the meteoric water. In addition, a significant factor in the formation of groundwater in the Middle, Lower Pliocene and Miocene aquifer is the mixing of the meteoric and sea waters. Increasing in values of stable isotopes with growing depth of groundwater is related with that the recharging areas of Paleogene (deep) aquifers are distributed higher by absolute depths and farther from the coastline than recharging areas of Quaternary (shallow) aquifers. The results of the research can be used to optimize the scheme for the exploitation of the fresh groundwater, limiting the intrusion of sea water in the exploited groundwater in the Mekong Delta.

Keywords: stable isotopes; oxygen-18; heavy hydrogen; groundwater in the South of Vietnam; the concentration of chlorine ion.

Дельта Меконга — регион, расположенный в юго-западной части Вьетнама, представлена двумя протоками Хау и Тянь на участке их впадения в Восточное море (рис. 1). Дельта занимает площадь 40577 км² (что составляет 12 % от общей площади Вьетнама).



Рис. 1. Карта распределения пресных и минерализованных вод в среднеплейстоценовом горизонте в дельте Меконга, по [2] с изменениями: 1 — минерализованные воды; 2 — пресные воды; 3 — граница водоносного горизонта

Статические запасы подземных вод в дельте Меконга составляют 61637315 м³/сут. Они сосредоточены в голоценовых (Q_{IV}), плейстоценовых (Q_{IV}^3 , Q_{IV}^{2-3} , Q_{IV}^1), плиоценовых (N_2^2 , N_2^1) и миоценовых (N_1^3) отложениях, содержащих преимущественно поровые и трещинные воды в четвертичных базальтах и докембрийских образованиях. Особенность гидрогеологических условий региона в том, что многие части разреза содержат воды с повышенной минерализацией. Запасы пресных подземных вод ограничены, и их распределение весьма неравномерное как по площади, так и по разрезу (табл. 1).

Из суммарных запасов подземных вод только 36,5 % приходится на пресную воду.

Таблица 1 Запасы подземных вод в дельте р. Меконга [1]	
Водоносные горизонты	Запасы подземных вод, м ³ /сут.
<i>Пресные воды</i>	22512989
Верхний плейстоцен (qr_3)	2002106
Средний—верхний плейстоцен (qr_{2-3})	4441642
Нижний плейстоцен (qr_1)	3602421
Средний плиоцен (n_2^2)	4398655
Нижний плиоцен (n_2^1)	5064118
Миоцен (n_1^3)	3004047
<i>Минерализованные воды</i>	39124326
Верхний плейстоцен (qr_3)	6409189
Средний—верхний плейстоцен (qr_{2-3})	6653670
Нижний плейстоцен (qr_1)	7036614
Средний плиоцен (n_2^2)	7575821
Нижний плиоцен (n_2^1)	5498734
Миоцен (n_1^3)	595029

Таблица 2

Характеристика эксплуатации подземных вод в дельте Меконга

Водоносные горизонты	Оцененные эксплуатационные запасы*, м ³ /сут.	Фактический эксплуатационный расход подземных вод в 2010 г, м ³ /сут.	Эксплуатационные возможности водоносных горизонтов, м ³ /сут.
qh		17851	
qp ₃	400421	114945	285476
qp ₂₋₃	888328	977514	-89186
qp ₁	720484	130077	590407
n ₂ ²	879731	477359	402372
n ₂ ¹	1012824	87652	925172
n ₁ ³	600809	118235	482574
Итого	4502597	1905782	2596815

Примечание. *Оцененные эксплуатационные запасы подземных вод составляют 20 % от общих запасов пресных подземных вод.

Эксплуатация четвертичных водоносных горизонтов не решает всех проблем водоснабжения региона (табл. 2). Например, водоотбор из горизонта qp₂₋₃ превышает его эксплуатационные возможности. Также следует учитывать, что качество и водообильность неглубоких водоносных горизонтов (qh, qp₃, qp₁) напрямую зависит от изменения климата, вторжения морской солёной воды и антропогенного загрязнения. Поэтому в планировании эксплуатации подземных вод дельты Меконг наибольшие перспективы связывают с плиоценовыми водоносными горизонтами. Общие потенциальные запасы подземных вод (водоносные горизонты n₂¹ и n₂²) составляют 22537288 м³/сут. (36,6 % от общих запасов подземных вод всего региона). Однако из этой суммы запасы пресной воды составляют только 9462773 м³/сут. (42 %).

Стратиграфический разрез дельты Меконга представлен отложениями неогеновой и четвертичной систем. В пределах региона выделяют три основные тектонические структуры, которые ограничены четырьмя группами разломов: северо-восток—юго-западного, северо-запад—юго-восточного, субмеридионального и субширотного направлений. Согласно исследованиям [6], разлом, вдоль которого течет протока Хау, относящаяся к северо-запад—юго-восточной группе разломов, влияет на движение подземных вод в плиоценовом водоносном горизонте в дельте Меконга.

Распределение пресных и минерализованных вод в водоносных горизонтах четвертичного и неогенового возрастов носит очень сложный и неоднородный характер (рис. 1).

Таким образом, в водоносных горизонтах дельты Меконга присутствуют как пресные, так и минерализованные воды. Считается, что минерализованные воды имеют седиментогенный генезис (захоронённые морские воды), а пресные — инфильтрационный [3]. Их миграция и взаимодействие в водоносных горизонтах приводит к формированию чрезвычайно генетически неоднородной

флюидной гидрогеологической системы. Последнее необходимо учитывать при разработке эксплуатационной схемы пресноводного водоснабжения этого региона.

Поэтому главной задачей наших исследований являлась оценка условий формирования подземных вод дельты Меконга, на которую должна в дальнейшем опираться система их эксплуатации. В этой связи приоритетное значение имеют глубокие водоносные горизонты, особенно водоносные горизонты n₂¹ и n₂², суммарные эксплуатационные возможности которых составляют 54,2 % от суммарных эксплуатационных возможностей водоносных горизонтов всего региона.

Для решения поставленной задачи в 2015 и 2016 гг. были отобраны 70 проб воды для изучения химического состава и определения изотопного состава кислорода и водорода. Кроме того, результаты исследования этих проб были дополнены материалами предыдущих исследований, проведённых в 1982—2001 гг. [8]. В результате была собрана представительная (210 проб) база геохимических данных, характеризующая все водоносные горизонты дельты Меконга (табл. 3, рис. 2). Все пробы приведены в соответствие с современной стратиграфической шкалой. Наряду с опробованием подземных вод отобраны три пробы речной воды. Отбор проб проводился в соответствии с процедурой, предусмотренной стандартом Международного агентства по атомной энергии (МАГАТЭ) [4].

Пробы атмосферных осадков отбирались ежемесячно. Единичная проба представляла собой смесь атмосферных осадков, которая собиралась в

Таблица 3

Число образцов, отобранных для определения изотопных характеристик кислорода и водорода в подземных водах в дельте Меконга за период от 1982 по 2016 гг. [5]

Водоносные горизонты	qp ₃	qp ₂₋₃	qp ₁	n ₂ ²	n ₂ ¹	n ₁ ³	Mz
Число проб	52	57	24	34	21	20	2

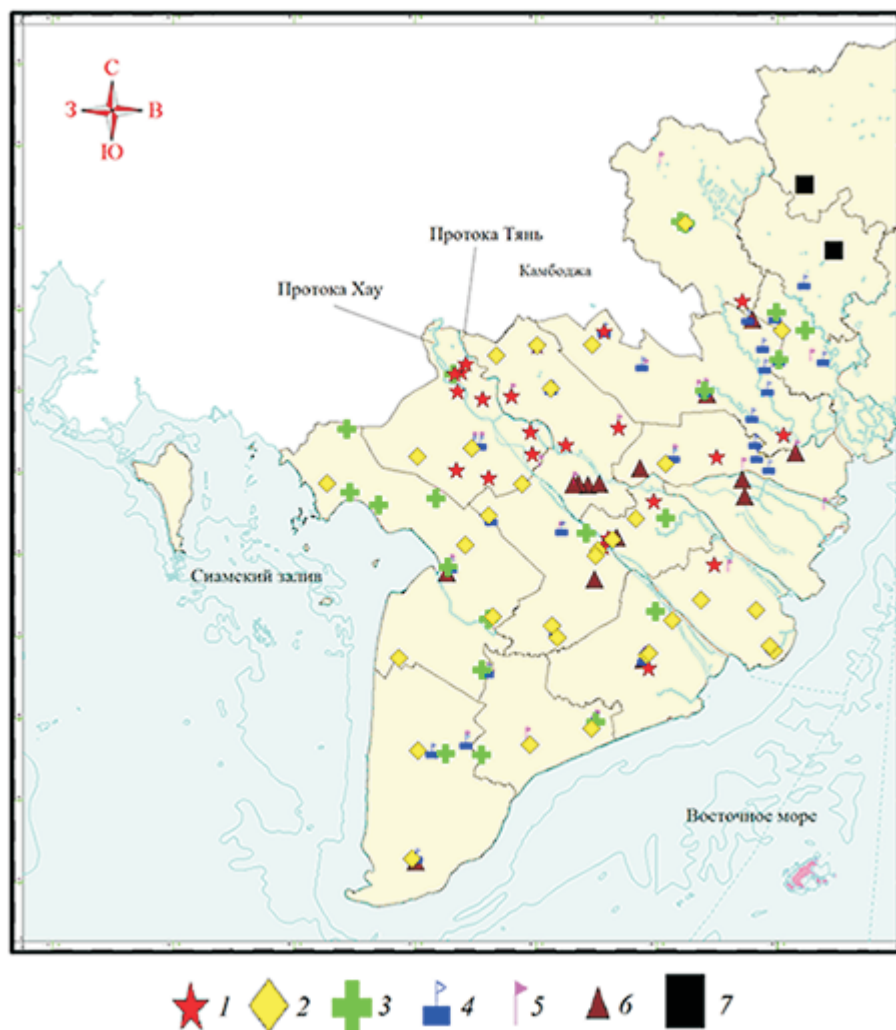


Рис. 2. Расположение точек отбора проб на стабильные изотопы в дельте Меконга из разных водоносных горизонтов: 1 – qr_3 ; 2 – qr_{2-3} ; 3 – qr_1 ; 4 – n_2^1 ; 5 – n_2^1 ; 6 – n_3^1 ; 7 – Mz

течение периода наблюдения (1 мес.) и подлежала фильтрованию через фильтры с диаметром пор 0,45 мкм в условиях вакуума.

Пробы на стабильные изотопы отбиралась отдельные пробирки ёмкостью 2 мл. Определения значений ^{18}O и D выполнялись на приборе ДНТ-100 в Департаменте изотопной гидрогеологии ядерного центра Хошимина. Результаты приведены относительно стандарта SMOW, погрешность измерения ^{18}O и D 0,15 и 1 ‰ соответственно.

Генезис подземных вод в дельте Меконга с применением изотопных исследований выяснялся путём сопоставления изотопного состава различных типов вод исследуемого региона со стандартной локальной линией метеорных вод для дельты Меконга (ЛЛМВ [9]), линией смещения подземных и морских вод (ЛСПМ [7]) и линией Крэйга (мировой стандарт для метеорных и поверхностных вод [7]).

ЛЛМВ была определена в процессе осуществления программы мониторинга изотопного состава

атмосферных осадков южных равнин Вьетнама в 2007–2015 гг. [9]. График ЛЛМВ характеризуется линейной зависимостью между D и ^{18}O :

$$D = 6,55 \text{ } ^{18}O + 4,69.$$

Большинство точек значений ^{18}O и D для подземных вод дельты Меконга распределены вдоль линии ЛЛМВ или расположены ниже неё (рис. 3). В соответствии с этим условия формирования подземных вод Меконга связаны с инфильтрацией атмосферных осадков (метеорных вод) [7].

Точки, характеризующие значения изотопов ^{18}O и D для подземных вод в верхнеплейстоценовом (qr_3), верхнесреднеплейстоценовом (qr_{2-3}) и нижнеплейстоценовом (qr_1) водоносных горизонтах, расположены рядом с точкой, характеризующей поверхностные воды (рис. 3). Этот факт указывает на то, что подземные воды плейстоценовых отложений в дельте Меконга имеют гидравлическую взаимосвязь с поверхностными водами и водами атмосферных осадков, инфильтрующихся в плейстоценовые водоносные горизонты.

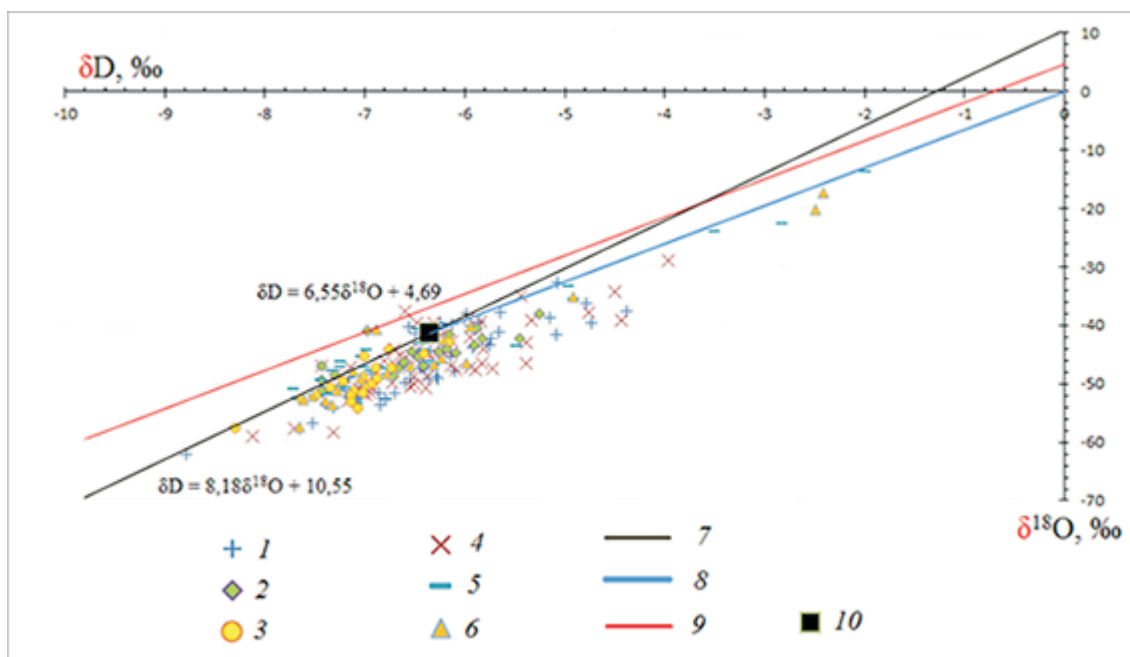


Рис. 3. Зависимости: изотопных характеристик кислорода и водорода поверхностных и подземных вод дельты Меконга: 1–6 – подземные воды (водоносные горизонты: 1 – qp_3 ; 2 – qp_1 ; 3 – n_1^1 ; 4 – qp^{2-3} ; 5 – n_2^2 ; 6 – n_1^3); 7 – глобальная линия метеорных вод (линия Крейга); 8 – ЛСПМ; 9 – ЛЛМВ; 10 – средний состав поверхностных вод

Дополнительно следует отметить, что фигуративные точки среднеплиоценового (n_2^2) и миоценового (n_1^3) горизонтов на графике (рис. 3) распределяются вдоль линии ЛСПМ и характеризуются самыми высокими значениями ^{18}O и D . Это позволяет заключить, что воды указанных водоносных горизонтов формируются в результате смешения атмосферных и морских вод.

Этот вывод подтверждается и анализом значений ^{18}O в зависимости от концентрации хлоридов в водоносных горизонтах неогенового возраста (рис. 4). Из рис. 4 следует, что значение ^{18}O увеличивается с ростом концентрации Cl^- . Такая связь геохимических характеристик вод указывает, что минерализованные воды с высокими значениями ^{18}O образуются в результате смешения ин-

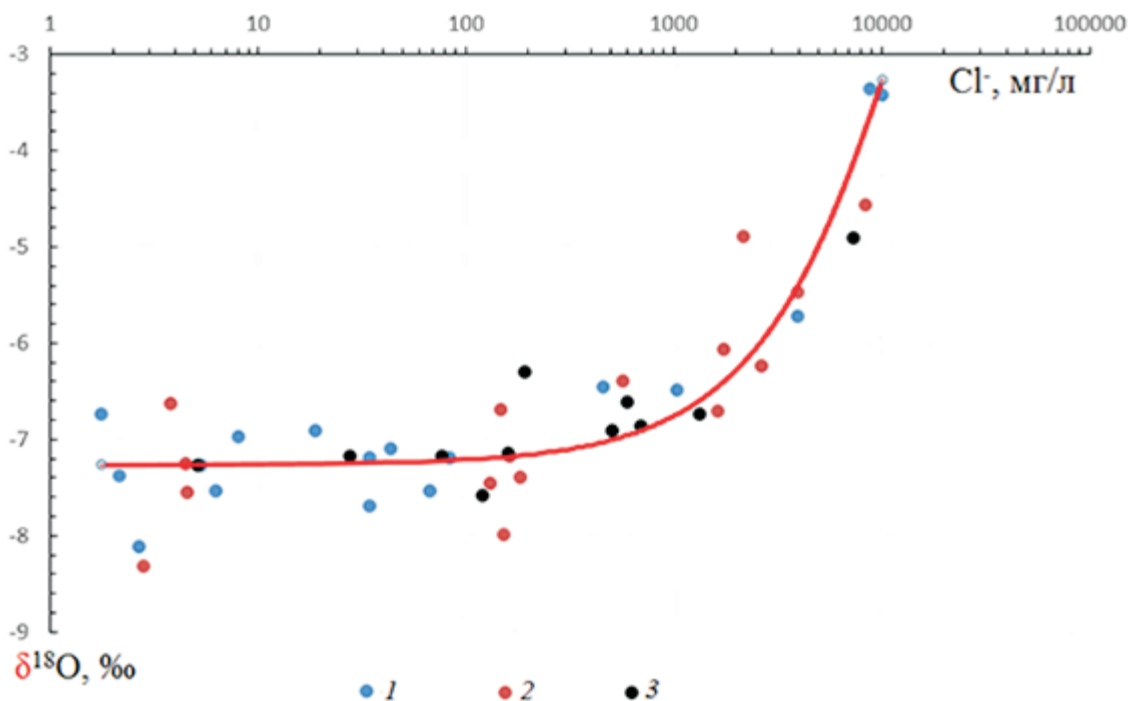


Рис. 4. График корреляции между концентрацией хлора и ^{18}O : 1–3 – водоносные горизонты: 1 – n_2^2 ; 2 – n_1^1 ; 3 – n_1^3

Таблица 4

**Изотопные характеристики кислорода и водорода в подземных водах
в дельте Меконга в 1982–2016 гг.**

Параметр	^{18}O (‰)		D (‰)	
	Средние значения	Стандартное отклонение	Средние значения	Стандартное отклонение
Поверхностные воды	-6,35	0,37	-41,30	2,50
Атмосферные осадки	-7,14	1,71	-38,15	14,12
Водоносный горизонт qr_3	-6,35	0,77	-46,90	5,90
Водоносный горизонт qr_{2-3}	-6,37	0,78	-46,10	5,80
Водоносный горизонт qr_1	-6,50	0,63	-45,05	3,70
Водоносный горизонт n_2^2	-7,02	1,39	-47,10	9,30
Водоносный горизонт n_1^1	-7,01	0,42	-50,15	3,50
Водоносный горизонт n_1^3	-6,66	1,48	-46,85	10,20
Водоносный горизонт Mz	-7,62	0,21	-51,40	1,90

фильтрационных вод (пресных и изотопнолёгких) с седиментационными, изначально имеющими морской генезис.

Результаты статистической обработки результатов изотопных исследований показывают (табл. 4), что с увеличением глубины залегания подземных вод наблюдается уменьшение значений ^{18}O и D. Такая закономерность в сочетании с общей тенденцией к снижению ^{18}O и D атмосферных осадков с удалением от береговой линии морского бассейна может быть связана с удалением от береговой линии в континентальную часть региона областей питания глубоких водоносных горизонтов по сравнению с областями питания вышерасположенных горизонтов. Она также может быть следствием проявления высотной изотопной зональности атмосферных осадков и отражать расположение на более высоких абсолютных отметках областей питания более глубоких горизонтов.

Общую тенденцию нарушают только воды миоценового водоносного горизонта (n_1^3). По сравнению с выше- и нижележащими горизонтами они выделяются большими средними значениями ^{18}O и D. Возможно, это является следствием их формирования в результате смешения атмогенных и морских вод (этот факт обсуждался выше). Однако эти процессы не оказывают влияния на средние характеристики изотопного состава кислорода и водорода других водоносных горизонтов неогена.

Подземные воды в водоносном горизонте мезозойском отложениях фундамента недостаточно

изучены для оценки их генезиса. В целом проведённые исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. Подземные воды в дельте Меконга формируются в основном за счёт инфильтрации метеорных вод. Отметим, что эксплуатационные возможности водоносных горизонтов ограничены и чрезмерная эксплуатация прежде всего верхнесреднеплейстоценового (qr_{2-3}) водоносного горизонта может привести к ухудшению качества подземных вод.

2. Значения содержаний изотопов ^{18}O и D для подземных вод среднего плиоцена (n_2^2), нижнего плиоцена (n_1^1) и миоцена (n_1^3) расположены на линии смешения подземных вод с морской водой. Этот факт подтверждается высокой корреляцией между концентрацией хлоридов и значения изотопа ^{18}O . Таким образом, формирование водного и солевого баланса этих горизонтов имеет сложный характер и происходит как минимум за счёт двух источников: пресных инфильтрационных и минерализованных седиментационных вод. Это необходимо учитывать при разработке схемы эксплуатации водных ресурсов этих горизонтов и организации текущего мониторинга за качеством добываемых вод.

3. Выявлена устойчивая тенденция снижения значений ^{18}O и D от верхней части разреза к более глубоким водоносным горизонтам. Эта тенденция отражает различную удаленность областей питания разновозрастных водоносных горизонтов в континентальной части региона и их различие в гипсометрическом положении в рельефе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Bui T.V., Phan N.L., Le H.N., Project «Assessment of the impact of climate change to groundwater in Mekong delta, proposed solutions to respond» // Report №. 14. 2013. P. 26–28. [In Vietnam].
 2. Department of Geology and Mineral Vietnam. Groundwater in Nambo plain // Department of Geology and Mineral Vietnam. 1998. 66p. Fig. II-20. [In Vietnam].
 3. Do T.H. Doctoral thesis «Formation of the chemical compositions of groundwater and its importance in the premise of the exploitation of groundwater in the Cenozoic deposits in the Mekong Delta» // Mining and Geological University (Hanoi, Vietnam). 1996. P. 22. [In Vietnam].
 4. IAEA, IAEA/GNIP precipitation sampling guide // IAEA Water Resources Program; V2.02 September 2014. P. 4–15.
 5. Lam H.Q.V., Nguyen V.K. Application isotope hydrology method research about original groundwater of Nambo plain // Science & Technology development journal, earth resources and sustainable development. Vietnam national university — Hochiminh city. 2016. № 19. P. 98–105. [In Vietnam].
 6. Lam H.Q.V., Graduate thesis «Application of isotopic hydrological to study groundwater dynamics of pliocene aquifer in Mekong Delta» // Hochiminh university of technology, Vietnam national university — Hochiminh city. 2016, P. 29–30. [In Vietnam].
 7. Mook W.G. Environmental isotopes in the hydrological cycle, technical documents in hydrology No.39 Vol.1 UNESCO, Paris, 2000. P. 120–123.
 8. Nguyen D.T., Lam H.Q.V. Using isotope hydrology method to determine the origin of ground water sources in the middle-Pliocene aquifer in the Mekong Delta, Vietnam // International conference on clean water, air & soil (Clean WAS 2017). 25–27 August 2017 — Bangkok, Thailand, 2017.
 9. Nguyen K.C. Applying Isotope Techniques to investigate Groundwater Dynamics of deep aquifers in the Nambo Plain for sustainable Groundwater Resource Management // IAEA/RCA Final Meeting of the RAS/7/022 Project, Bali, Indonesia, 23–27 Nov. 2015.
-

ГЕОЭКОЛОГИЯ

УДК 624.131.1

**ИЗМЕНЕНИЕ КОМПОНЕНТОВ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ
ПРИ ДЛИТЕЛЬНОЙ РАЗРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ
ОТКРЫТЫМ СПОСОБОМ (НА ПРИМЕРЕ КМА)**

О.М. ЖИТИНСКАЯ¹, Л.А. ЯРГ²

*¹Старооскольский филиал Российского государственного геологоразведочного университета
14/13, Ленина ул., Старый Оскол 309530, Россия
e-mail: gonjarova_o@mail.ru*

*²Российский государственный геологоразведочный университет
23, Миклухо-Маклая ул., Москва 117997, Россия*

Рассмотрено влияние процессов функционирования локальных природно-технических систем «Стойленское» и «Лебединское» месторождения на геологическую среду с использованием информации, полученной в 2004—2015 гг. в рамках мониторинга. Приведены результаты анализа временных рядов и установленные тренды в изменении компонентов геологической среды: уровня подземных вод; химического состава подземных вод; инженерно-геологических процессов. Предложены способы оптимизации режимных наблюдений в части их размещения и периодичности во времени. Разработанный способ оценки текущего состояния природно-технической системы позволяет сократить число наблюдений, не снижая качества информации. Пространственная структура и временной режим мониторинга должны корректироваться в соответствии с получаемой информацией. Данные, полученные на месторождениях Лебединское и Стойлинское, могут быть использованы при проектировании и разработке месторождений со сходными геологическими условиями.

Ключевые слова: Курская магнитная аномалия; геологическая среда; природно-техническая система (ПТС); мониторинг; водоносные горизонты; уровень подземных вод; химический состав подземных вод; инженерно-геологические процессы.

**CHANGES IN THE COMPONENTS OF THE NATURAL ENVIRONMENT
WITH THE LONG-TERM DEVELOPMENT IN THE OPENCAST MINES
(THE CASE OF KMA)**

O.M. ZHITINSKAYA¹, L.A. YARG²

*¹Starooskolsky branch of the Russian State Geological Prospecting University
14/13 Lenina st., the city of Stary Oskol 309530, Belgorod region, Russia
e-mail: gonjarova_o@mail.ru*

*²Russian State Geological Prospecting University
23 Miklouho-Maklay's street, Moscow 117997, Russia*

The influence of the processes of functioning of the local natural-technical systems (NTS) «Stoilenskoe» and «Lebedinskoe» of the KMA deposit on the environment has been studied with the information obtained during the period of last 7—12 years (2004—2015 y.y.). Results of the analyses of time series and obtained trends in the geological components alteration (in particular, a) level of groundwater, b) chemical composition of groundwater, c) engineering and geological processes) have been given. The ways of regime observations optimization concerning their placement and frequency in time have been offered. The proposed way of the assessment of the current state of NTS allows reducing the observations number, without reducing quality of information. The spatial structure and the time mode of monitoring have to be corrected according to the obtained information. The data received from Lebedinskoye and Stoylinskoye fields can be used for design and development of the similar geological fields.

Keywords: Kursk Magnetic Anomaly; geological environment; natural-technical system (NTS); field; monitoring; aquifers; groundwater level; chemical composition of groundwater; engineering-geological processes.

Курская магнитная аномалия — крупнейший железорудный бассейн в мире площадью 125 тыс. км², расположенный в пределах Воронежской антеклизы Восточно-Европейской платформы.

Результаты исследования, изложенные в статье, получены в результате:

1) сбора и обобщения фондового материала по месторождениям КМА (Лебединское, Стойленское, Михайловское);

2) полевых работ по оценке устойчивости бортов, в том числе хвостохранилища Стойленского ГОК, включающих документацию состояния бортов;

3) опробование грунтов на физико-механические свойства пород для оценки устойчивости;

4) анализа и статистической обработки лабораторных данных о химическом составе подземных и техногенных вод.

На территории Белгородской области находятся 14 из 18 разведанных и учтённых государственным балансом месторождений железных руд КМА с запасами 51 млрд. т, в том числе промышленных категорий — 24 млрд. т (рис. 1). В Оскольском рудном районе расположено 9 месторождений, балансовые запасы которых представлены главным об-

разом легкообогатимыми кварцитами [7, 16]. Богатые руды локализованы в отложениях докембрия на глубинах от 60 до 600 м.

Железные руды на Лебединском и Стойленском месторождениях добываются открытым способом.

В геологическом строении осадочного чехла месторождений принимают участие отложения (сверху вниз): песчано-глинистые четвертичные, средней мощностью 26 м; турон-коньяк-сантонского яруса, представленные мелом с прослоями мергелей, средняя мощность 55,4 м; альб-сеноманского яруса, сложенные плотными неоднородными по гранулометрическому составу песками с прослоями глин, мощность 35,4 м; юрско-неокомские, представленные песчано-алевритистыми и глинистой толщами, средняя мощность 13 м. Отложения девона (максимальная мощность 16 м) выполняют глубокие впадины в кристаллическом фундаменте докембрия (рис. 2). Рудно-кристаллический фундамент является сложноскладчатым, разбитым разрывными тектоническими нарушениями, представляющими собой зоны дробления и расщепления, сопровождающиеся зонами повышенной трещиноватости. Разрывные нарушения крутопадающие (65–85°). Системы трещин и

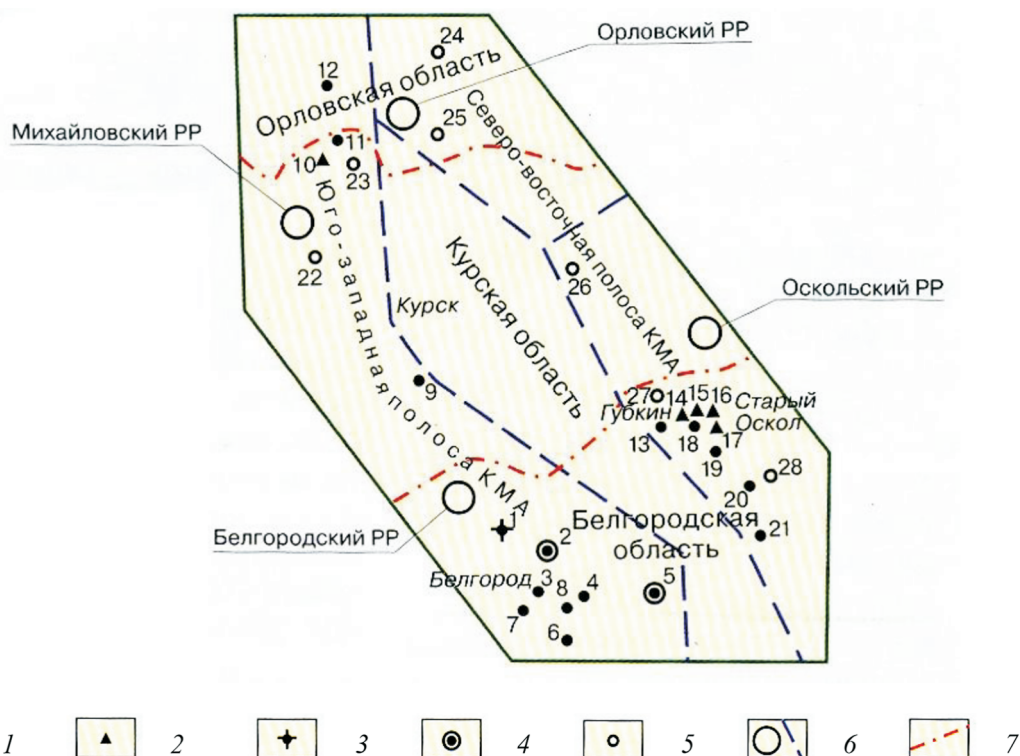


Рис. 1. Железорудные месторождения и перспективные участки бассейна КМА: 1–28 — месторождения и участки: 1 — Яковлевское; 2 — Гостищевское; 3 — Вислово-Шебекинское; 4 — Мелихово-Шебекинское; 5 — Большетроицкое; 6 — Разуменское; 7 — Олимпийское; 8 — Соловьевское; 9 — Дичнянско-Реутское; 10 — Михайловское; 11 — Курбакинское; 12 — Новоялтинское; 13 — Осколецкое; 14 — Коробковское; 15 — Лебединское; 16 — Стойло-Лебединское; 17 — Стойленское; 18 — Салтыковское; 19 — Приоскольское; 20 — Чернянское; 21 — Погромское; 22 — Яценский участок; 23 — Лев-Толстовский участок; 24 — Орловский участок; 25 — Воронцовский участок; 26 — Шигровский участок; 27 — Панковский участок; 28 — Северо-Волотовский участок; 1 — разведанные месторождения; 2 — разрабатываемые месторождения; 3 — подготовленные месторождения к подземной разработке; 4 — готовящиеся месторождения к СГД; 5 — перспективные участки; 6 — рудные районы (РР); 7 — административные границы областей

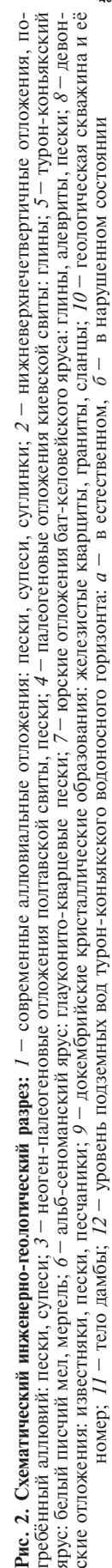


Таблица 1

Характеристика водоносных горизонтов

Водоносный горизонт	Породы	Мощность, м	Коэффициент фильтрации, м/сут.	Напор, м
Четвертичный	Суглинки, пески, глины	2—20	—	Безнапорный
Коньяк-туронский	Мергели, мел	21—94	0,8—5,5	Безнапорный
Альб-сеноманский	Пески	25—40	7—12	10—15
Рудно-кристаллический	Руда кварцит	10—50 50	1—1,2 0,07—25	47 79,6

разломов расчлениают рудно-кристаллический массив на блоки.

Существование четырёх водоносных горизонтов: рудно-кристаллического, альб-сеноманского, турон-коньякского, четвертичного определило сложность гидрогеологических условий разрабатываемых месторождений. Кроме того, подземные воды являются причиной развития инженерно-геологических процессов в пределах локальных ПТС на всем протяжении эксплуатации месторождений.

КМА относится к категории региональных природно-технических систем (ПТС), структура которых состоит из локальных ПТС [3]. Локальная природно-техническая система (ЛПТС) «Месторождение» включает элементарные (ЭПТС): карьеры, хвостохранилища, гидроотвалы, отвалы вскрышной породы.

Разработка железных руд на Лебединском месторождении начата в 1959 г., к настоящему времени размеры карьера в плане составляют 5 3 км, глубина — 410 м. Эксплуатация Стойленского месторождения ведётся с 1969 г, размеры карьера (по дневной поверхности) составляют около 2,3 2,5 км, глубина — 350 м [8].

Основной водной артерией является р. Оскол и её притоки Осколец и Чуфичка, в долинах которых созданы гидроотвалы и хвостохранилища. В бассейне р. Осколец в 1965 г. был создан гидроотвал Берёзовый Лог ёмкостью 120 млн. м³, в настоящее время он рекультивирован. В долине р. Чуфичка сооружено два хвостохранилища Лебединского и Стойленского месторождений. Лебединское хвостохранилище создано в 1972 г. для сброса использованных в производственном процессе вод, накопления пылевато-глинистой фракции (хвостов), проектная ёмкость 370 млн. м³ [11]. Стойленское хвостохранилище сооружено в 1986 г. ниже по течению р. Чуфичка для отстоя пульпы с обогащённой фабрики.

Осушение Лебединского и Стойленского карьеров осуществляется комбинированным способом с применением подземного дренажного комплекса, перехватывающего основную часть потока подземных вод за пределами карьеров по их контуру и внутрикарьерными дренажными комплексами: дренажными канавами, горизонтальными дренажными скважинами.

Зонами разгрузки надьюрского водоносного комплекса являются дренажные системы, борта карьера, водозаборы и долина р. Осколец при региональном направлении потока с северо-востока на юго-запад.

Оценка влияния функционирования объектов на геологическую среду ведётся на основании информации, получаемой в рамках мониторинга [13]. Параметрами наблюдения являются: уровень подземных вод, их химический состав, состояние бортов карьеров, отвалов и откосов дамб хвостохранилищ. Продолжительность наблюдательных рядов составляет соответственно для Стойленского месторождения 12 лет (с 2004 по 2015 гг.), для Лебединского — 7 лет (с 2007 по 2013 гг.) [8]. Периодичность наблюдений за уровнем подземных вод 1 раз в месяц, для химического состава подземных вод — 1 раз в квартал. Характеристика водоносных горизонтов приведена в табл. 1.

В результате анализа временных рядов за столь продолжительный период выявлены основные тенденции изменения компонентов геологической среды.

Изменение уровня подземных вод. Техногенный режим подземных вод, формирующийся при вскрытии месторождения, характеризуется определёнными новыми закономерностями.

В пределах месторождений сложный гидродинамический режим подземных вод обусловлен: во-первых, развитием депрессионной воронки, масштабы (диаметр и глубина) которой возрастают по мере увеличения размеров карьера; во-вторых, формированием купола растекания под хвостохранилищем, динамика которого тесно связана с производственными процессами добычи полезного ископаемого.

При длительной работе дренажных систем происходит сработка статических запасов подземных вод и вовлечение в процесс динамических ресурсов, зависящих от условия питания и разгрузки. В первый период эксплуатации Лебединского месторождения сработка статических запасов надьюрского водоносного комплекса привела к тому, что в 1966 г. через 10 лет после начала его строительства при понижении уровня на 43 м образовалась депрессионная воронка радиусом влияния в южном направлении 11 км, в северном — около 9 км.

Осушение месторождения, снижение уровней грунтовых и напорных вод создают благоприятные условия для инфильтрационного питания подземных вод дождевыми, талыми водами, водами ручьев и техногенных водоёмов (хвостохранилищ, прудов-отстойников).

Именно этим объясняется повышение уровней подземных вод в период снеготаяния и обильных осадков и снижение уровней в остальное время года (рис. 3). Инфильтрационные потери из гидроотвала «Березовый Лог» на Лебединском карьерном поле в 1970—1972 гг. достигли 1200—1500 м³/г, в результате уровень «подпитываемого» надъярского горизонта под гидроотвалом повысился на 15 м [15].

На территории Стойленского месторождения с 2004 по 2015 гг. по графикам, построенным по данным режимных наблюдений, прослеживается тренд снижения уровня подземных вод в водоносных горизонтах: в рудно-кристаллическом на 8,7 м, в альб-сеноманском — 2,2 м, в турон-коньякском — 1,3 м [9].

Графики изменения уровня подземных вод турон-коньякского водоносного горизонта с 2006 по 2015 гг. приведены на рис. 3. С начала работы дренажной системы к настоящему времени турон-коньяцкий водоносный горизонт в центре депрессии полностью сработан. Уровень подземных вод турон-коньякского водоносного горизонта на участке расположения карьера снижен более чем на 40 м (рис. 2) [6].

Подобный анализ изменения уровня альб-сеноманского водоносного горизонта за 7-летний период выполнен по Лебединскому месторождению в различных направлениях. К северу от карьера снижение уровня в год составило 0,30 м, к югу — 0,36 м, к западу — 0,15 м, к востоку — 0,93 м [10]. Различия положения уровней депрессионной воронки обусловлены работой дренажной системы соседнего Стойленского карьера, находящегося в 8 км к востоку от Лебединского.

Длительная эксплуатация месторождения ведёт к полной сработке питьевых вод в малых населённых пунктах, расположенных вблизи месторождения.

На динамику уровней подземных вод заметное влияние оказывают хвостохранилища, являющиеся техногенной областью питания турон-коньякского водоносного комплекса. Анализ результатов мониторинга уровня режима подземных вод мелового водоносного комплекса в районе Стойленского хвостохранилища показал, что общий подъём уровня с 1999 по 2015 гг. составил 3 м. Подъём уровня подземных вод во всех направлениях зафиксирован до 2008 г. В период 2008—2015 гг. происходит его стабильное понижение. Прекращение роста уровня воды на описываемом участке с последующим его падением, по всей видимости,

связано со снижением инфильтрационных потерь из хвостохранилища в связи с ростом мощности хвостов песчано-глинистого состава [6].

В районе расположения хвостохранилища Стойленского месторождения в целом отмечается высокое положение уровня подземных вод как в турон-коньякском, так и в альб-сеноманском водоносных горизонтах. За счёт инфильтрационных потерь из технического водоёма под ним и на прилегающей территории образовался купол растекания (рис. 2). За время существования хвостохранилища максимальный подъём уровня подземных вод по сравнению с естественным режимом достиг 25 м и более [6]. Аналогичная ситуация фиксируется и в районе хвостохранилища Лебединского месторождения [5, 8, 15].

Хвостохранилища превращаются в область техногенного питания водоносных горизонтов.

Существующий массив данных о гидрогеологических условиях позволяет оптимизировать используемые в настоящее время методы оценки необходимой информации. Обоснован алгоритм оптимизации информации, включающий:

- 1) разделение полей гидрогеологических на области, отличающиеся гидрогеологическим режимом;
- 2) установление тренда в изменении измеряемых параметров;
- 3) оптимизацию числа наблюдений и их размещение.

В пределах Стойленского месторождения возможно выделить две области, различающиеся гидродинамическим режимом: область депрессионной воронки и область купола растекания. Область влияния купола растекания устанавливается на основе анализа карт гидроизогипс и данных режимных наблюдений в рамках мониторинга.

Графики изменения уровней подземных вод во времени содержат флуктуации, относящиеся к периодам снеготаяния и обильных осадков и снижения уровней в остальное время года (рис. 3).

Оптимизация системы наблюдения за уровнем подземных вод по результатам анализа временных рядов. Для обоснования перевода системы мониторинга за подземными водами с ежемесячных замеров на ежеквартальные были использованы две выборки значений (по данным замеров скв. 15). В качестве инструмента исследования был использован анализ временных рядов.

В теории временных рядов разработаны различные методы исследования: корреляционный и спектральный анализ, методы сглаживания и фильтрации, модели авторегрессии и скользящего среднего [1, 2, 12]. Авторами для решения поставленной задачи предлагается алгоритм, включающий корреляционный анализ и метод скользящего среднего. Временные ряды результатов наблюдений за изменением уровня подземных вод ту-

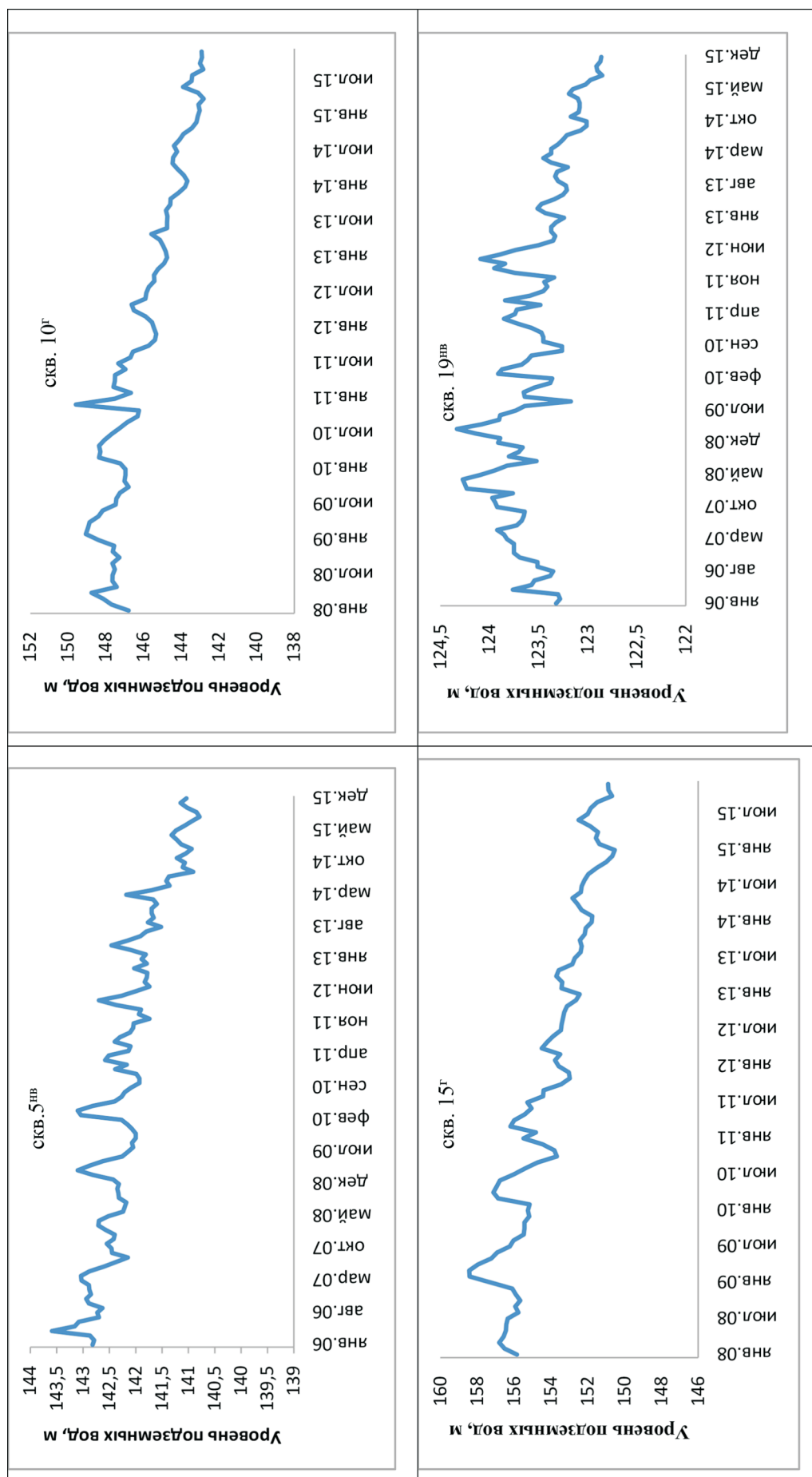


Рис. 3. Графики изменения уровней подземных вод турон-коньякского водоносного горизонта (2006—2015 гг.): скв. 15^г — номера скважин

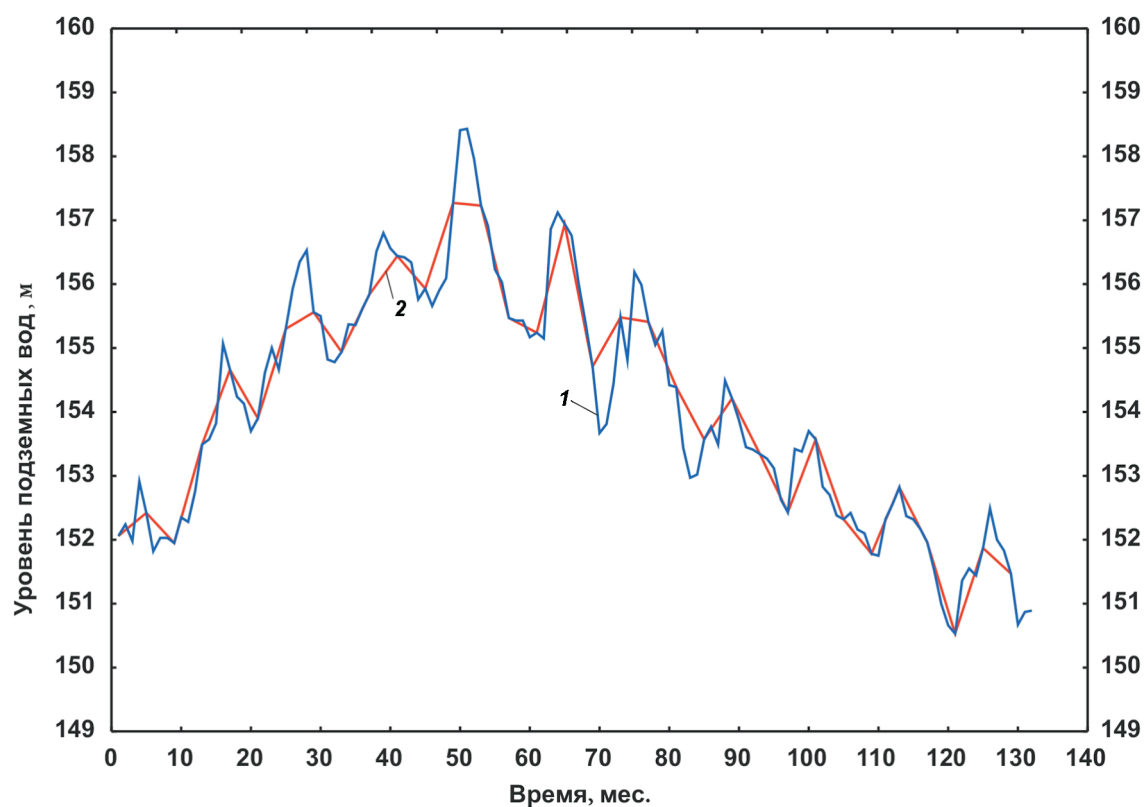


Рис. 4. Временные ряды замеров уровня подземных вод турон-коньякского водоносного горизонта (2006–2015 гг.): 1 – график ежемесячных замеров уровня подземных вод, 2 – график ежеквартальных замеров уровня подземных вод

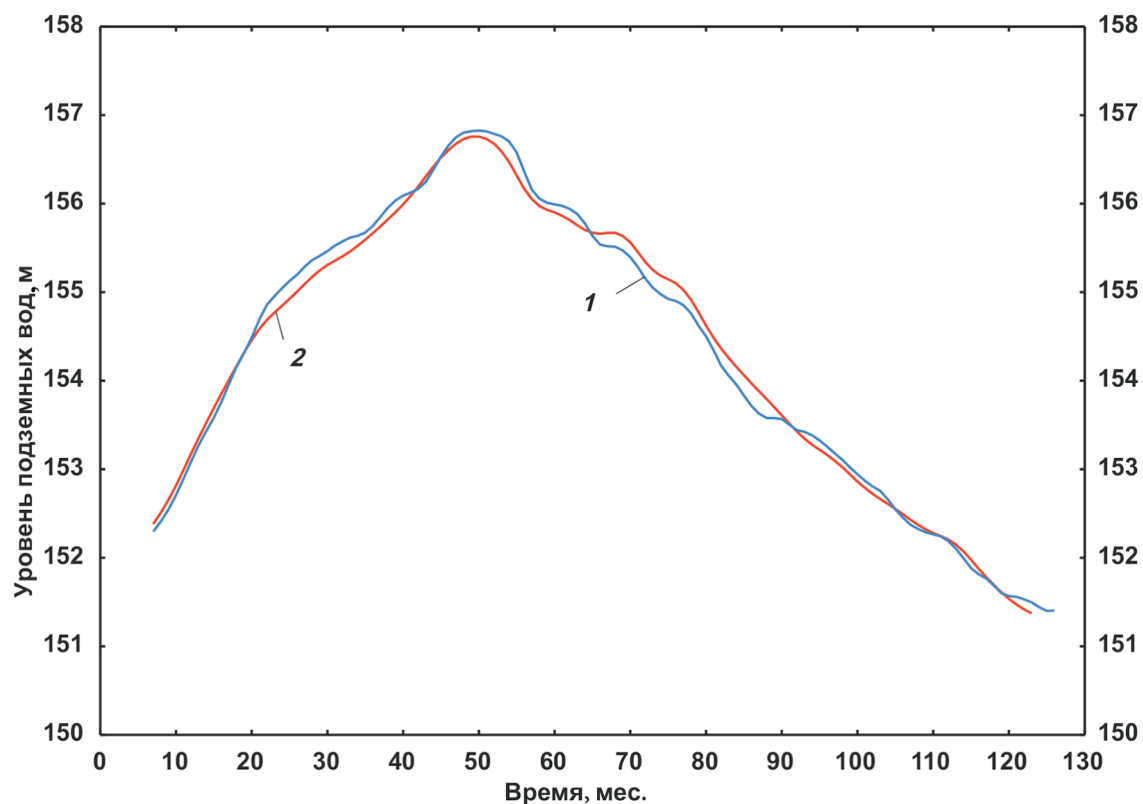


Рис. 5. Графики скользящего среднего: 1 – ежемесячные замеры уровня подземных вод, 2 – ежеквартальные замеры уровня подземных вод турон-коньякского водоносного горизонта

рон-коньякского водоносного горизонта представлены на рис. 4. В ходе анализа были использованы две выборки данных: первая выборка включала ежемесячные данные по замерам уровня подземных вод, вторая — ежеквартальные.

Для выявления общих тенденций изменения уровня подземных вод и с целью его прогноза на основе рассмотренных выше временных рядов были построены графики скользящего среднего (рис. 5).

Для прямолинейного участка выполнен прогноз изменения уровня подземных вод во времени (рис. 6).

В процессе аппроксимации временных рядов установлено, что уравнение линейного тренда по ежемесячным и ежеквартальным замерам совпада-

ет (с точностью входящих в него коэффициентов до второго знака), при достоверности аппроксимации.

Для оценки связи между фактическими временными рядами ежемесячных и ежеквартальных замеров был выполнен корреляционный анализ (рис. 7), доказавший наличие тесной связи между анализируемыми рядами наблюдений (коэффициент корреляции 0,97).

Таким образом, можно сделать вывод, что система наблюдений за уровнями подземных вод может быть существенно оптимизирована за счёт перехода от ежемесячных наблюдений к ежеквартальным. При этом качество получаемых результатов сохраняется.

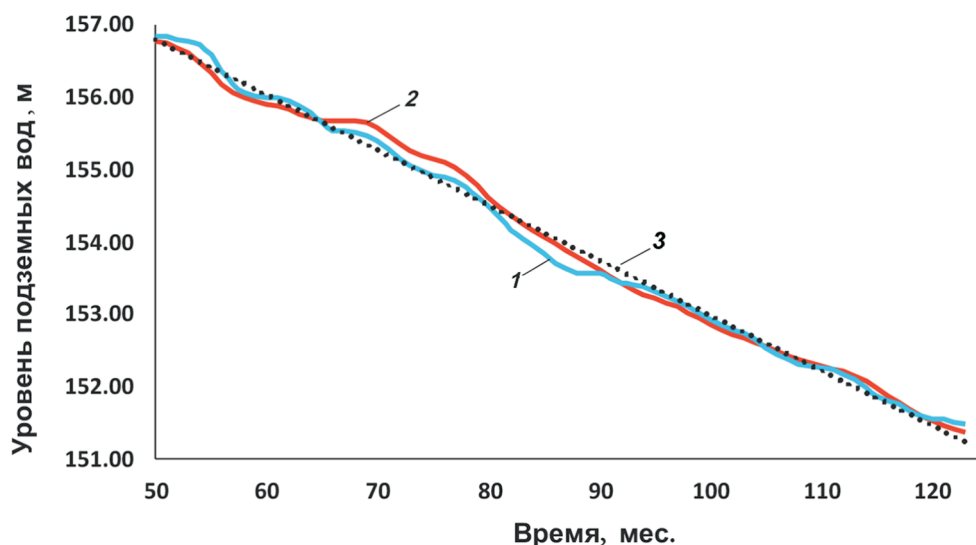


Рис. 6. Тренд изменения уровня подземных вод турон-коньякского водоносного горизонта во времени по данным многолетних режимных наблюдений $Y = 0,07 X + 160,6$, достоверность аппроксимации $R = 0,99$: 1 — точки ежемесячных замеров уровня подземных вод; 2 — точки ежеквартальных замеров уровня подземных вод; 3 — линейный тренд

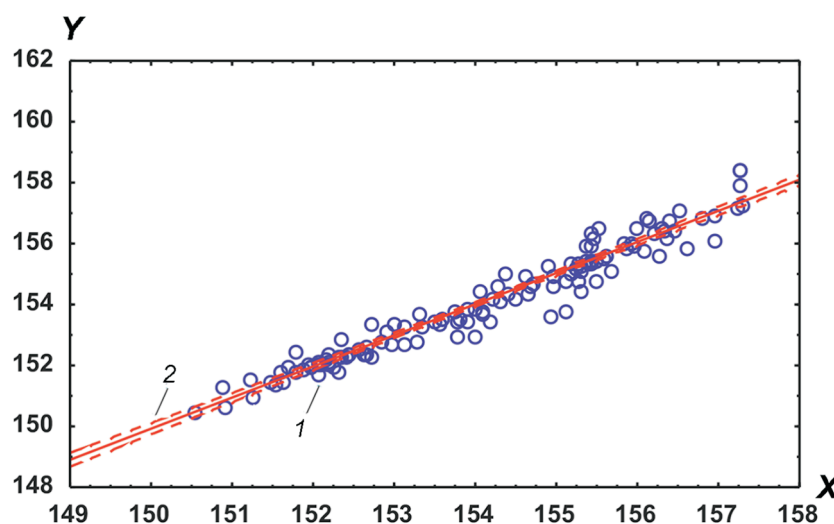


Рис. 7. Корреляционный график между временными рядами ежемесячных и аппроксимированных ежеквартальных замеров: 1 — точки экспериментальной основы корреляционной зависимости ежемесячных и аппроксимированных ежеквартальных замеров уровня подземных вод турон-коньякского водоносного горизонта, 2 — линия аппроксимации

Изменение химического состава подземных вод в ходе эксплуатации месторождения. Подземные воды представляют сложную многокомпонентную среду. В целом реальные гидрогеохимические системы в термодинамическом отношении являются открытыми и неравновесными системами. Длительный водообмен при малых скоростях движения подземных вод приводит к частичному равновесию в системе вода—горная порода—газ. Среди причин и условий, влияющих на изменение химического состава подземных, — динамика подземных вод при вскрытии и длительной разработке месторождения. Снижение уровней подземных вод, изменение градиентов напора и скорости потока нарушают механизм взаимодействия между твёрдой и жидкой фазами. В условиях снижения напоров подземных вод и падения уровней происходит перетекание вод из верхних горизонтов, что приводит к возрастанию минерализации подземных вод.

Проблеме изменения химического состава подземных вод под влиянием искусственных факторов на основе теории и методов массопереноса посвящены работы Н.Н. Веригина, В.М. Гольберга, В.М. Шестакова, С.Р. Крайнова, В.М. Швеца [13]. Общей причиной протекания процессов массопереноса способом молекулярной диффузии или одновременно конвекции и молекулярной диффузии является изменение градиентов концентраций, температуры и давления как в водной системе, так и в сложной системе вода—порода—газ. Для техногенных типов подземных вод характерны временные изменения кислотно-щелочных равновесий и соответственно pH. Это связано с преобразованием карбонатных равновесий. Изменение окислительно-восстановительного состояния подземных вод вызывает изменение зарядов ионов с переменной валентностью, ведущее к усилению или снижению миграционной способности элементов в воде. Разработка *железорудных месторождений* приводит к возрастанию концентрации нормируемых компонентов и микрокомпонентов в водах турон-коньякского и альб-сеноманского горизонтов. Это связано с поступлением из отвалов, хвостохранилищ, дамб в подземные воды «новых микрокомпонентов» (F^- , Zn , Cr^{6+} , Ni , Co , B^{2+} , Cd , Mn , Mo , Pb , Al , Cu) [17], что приводит к нарушению естественных физико-химических равновесий в системе вода—горная порода—газ и созданию неравновесного состояния.

Фоновые концентрации компонентов в настоящее время полностью изменены на расстоянии в несколько сотен километров. О влиянии длительной разработки месторождения можно судить по данным о химическом составе подземных вод в период геологической разведки месторождения, в начальных этапах вскрытия карьера и в настоящее время.

В период геологической разведки месторождения химический состав надбюрского водоносного комплекса (в дальнейшем разделённого на отдельные водоносные горизонты) содержал (в мг/л): гидрокарбонатов 110, сульфатов 5, хлоридов 11, кальций 18, магний 6, натрий, сухой остаток 137, при минерализации 192. После шести лет разработки карьера химический состав вод турон-коньякского водоносного горизонта изменён. Содержание увеличивается до (в мг/л): гидрокарбонатов 242, ионов сульфатов 64, ионов хлоридов 12, кальция 78, магния 13, натрия 14, сухой остаток 318. Анализ данных о современном химическом составе подземных вод (2015 г.) показал еще более существенные его изменения.

Подземные воды турон-коньякского водоносного горизонта на протяжении ряда лет по химическому составу подразделяют на четыре типа: гидрокарбонатно-кальциевый, гидрокарбонатный магниевый-кальциевый, сульфатно-гидрокарбонатный натриево-кальциевый и гидрокарбонатный магниевый-натриево-кальциевый. За 12-летний период исследований увеличено содержание в воде ионов сульфатов до 70, железа общего до 3,46 мг/л (0,3 мг/л).

В пределах *железорудных* месторождений существенное влияние на миграционную подвижность компонентов оказывает железо. «Геохимию железа в подземных водах определяют следующие его свойства: малая растворимость гидроксида трехвалентного железа и соединений двухвалентного железа со многими анионами подземных вод; способность к образованию устойчивых комплексных соединений с CO_3^{2-} , SO_4^{2-} и органическим веществом» [13].

Выщелачивание карбонатов из карбонатных пород (писчий мел, мергель) и ионообменная сорбция глинами юры ограничивают миграцию железа в кислородсодержащих водах и приводят к накоплению его в подземных водах до значительных концентраций в водах турон-коньякского водоносного горизонта.

В альб-сеноманском водоносном горизонте вода локально имеет повышенную жесткость до 17,9 мг-экв/л (ПДК 7 мг-экв/л), превышение сухого остатка до 1909 мг/л (ПДК 1000 мг/л), содержанию натрия до 509,7 (200), кремния до 19,83 (10), марганца 0,32 мг/л (0,1 мг/л) и окисляемости перманганатной до 311,50 мг O_2 /л (ПДК 5 мг O_2 /л).

Грунтовые воды четвертичного водоносного горизонта практически повсеместно характеризуются повышенной жесткостью 12,8 мг-экв/л (ПДК 7 мг-экв/л). На локальных участках отмечено превышение в воде: сухого остатка до 2283 мг/л (ПДК 1000 мг/л), ионов хлоридов до 1073 (350), кремния до 22,39 (10), нефтепродуктов до 0,32 (0,1); из микрокомпонентов: превышение содержания марганца до 0,13 (0,1) и алюминия до 0,92 мг/л (0,5 мг/л) [6, 11].

Существующие анализы подземных вод, характеризующие качество вод для питьевого водоснабжения, не содержат информации, необходимой и достаточной для оценки миграционной подвижности компонентов в подземных водах рассматриваемых месторождений. Длительные систематические наблюдения за изменением химического состава подземных вод в процессе эксплуатации месторождения позволяют: 1) определить генетическую природу временных изменений химического состава подземных вод; 2) разработать методы прогноза изменения качества подземных вод при эксплуатации месторождений подобного типа с учётом происходящих при этом гидрогеохимических явлений.

Активизация инженерно-геологических процессов. Карьерное поле характеризуют следующие параметры: суммарная длина фронта карьера, рельеф поверхности карьера, уступы, их число, высота и угол заложения, бермы, отвалы. Высота уступов определяется составом пород, условиями их залегания, блочностью и трещиноватостью массива.

Толща осадочных пород, мощностью до 170 м подстилается сложноскладчатым комплексом метаморфических пород докембрия. В основном месторождения Лебединское и Стойленское представлены железорудная коробковская свита и подстилающая её стойленская свита (мощность 159—500 м),

преимущественно кварцито-песчаники с прослоями сланцев.

Коробковская свита, средней мощностью 600 м является продуктивной, представлена практически полностью железистыми кварцитами (двумя железорудными подсвитами, разделёнными сланцевыми подсвитами).

По породам докембрия развита кора выветривания, в вертикальном строении которой выделяются три зоны (снизу вверх): дезинтеграции, литомаржа, дисперсная. Мощность коры выветривания в зависимости от состава субстрата варьирует от 5 до 50 м.

Сложноскладчатый рудно-кристаллический фундамент разбит крупными тектоническими нарушениями различного порядка. Западный региональный разлом и тектонические нарушения I и II порядков (протяжённостью от 1000 до нескольких сотен метров) создают блоковое строение массива. Зоны тектонических нарушений представляют собой зоны дробления, рассланцевания с глиной трения. Расстояния между зонами нарушений колеблется от 30 до 150 м. По степени структурной нарушенности массив характеризуется как крупно—среднеблочный, в коре выветривания — как мелкоблочный [4].

Основными параметрами, используемыми при проектировании карьеров (выборе заложения откосов) являются: плотность, прочность, коэффициент разрабатываемости пород.

Таблица 2

Физико-механические свойства рыхлых пород, слагающих борта карьера [4, 5, 9, 15]

Геологический индекс, порода	Мощность, м	Физико-механические свойства пород				
		Плотность, г/см ³	Влажность, %	Коэффициент пористости, %	Сцепление, МПа	,°
Q , суглинки	25	1,83	19	0,8	0,05—0,08	19—36
K₂t-сн , мергель, мел	28—35	1,81—1,86	16—41	0,78	0,07—0,14	
K₁₋₂ al-s , пески	4—6	1,70—1,86	5—17		0,02	28—33
J Глины песчаные	2—30	2,12	20—22	0,66	0,03—0,07	20—28
eL(PR) , кора выветривания зона литомаржа зона дробления	5—50	2,13—3,31 2,35			0,09 0,73—15,1	22
Скальные породы						
Породы	Трещиноватость	Плотность, г/см ³	,°	<i>C</i> , МПа, <i>H</i> 10 м	<i>C</i> , МПа, <i>H</i> 15 м	<i>C</i> , МПа, <i>H</i> 45 м
Кварциты железистые окисленные	сильная	3,31	14	25,7	25,1	22,2
PRK ₁ , кварциты магнетитовые и силикатомagnetитовые	сильная	3,48	16	26,7	25,6	23,1
	средняя	3,64	19	28,4	27,7	21,6
PRK ₂ , сланцы биотитовые, выветрелые	сильная	2,67	15	14,1	13,4	11,6
PRK ₃ , кварциты магнетитовые с железной слюдкой	сильная	3,51	17	28,8	26,8	23,4
	средняя	3,67	19	29,6	28,3	23,1
PRSt ₁ кварцито-песчаники	сильная	2,57	16	12,7	12,1	10,8
	средняя	2,63	19	14,3	13,7	11,9

Примечание. *H* — высота уступа борта карьера; *C* — сцепление.

Таблица 3

Характеристика деформаций, развивающаяся в прибортовых массивах горных пород [4]

Вид деформации	Величина деформации, МПа	Признаки деформации	Характер деформации	Смещение поверхности прибортового массива, м
Упругая	$<1 \cdot 10^{-3}$		Затухающий	$>1,30$
Упруго-пластичная	$(2-10) \cdot 10^{-3}$	Микро- и макротрещины	Затухающий	0,20—0,30
Пластичная	$(10-30) \cdot 10^{-3}$	Видимые заколы и трещины	Преимущественно затухающий	1,5—2,0
Ползучесть	$>30 \cdot 10^{-3}$	Разрушение прибортового массива	Прогрессирующий	$> 2,0$

Таблица 4

**Причины и условия развития инженерно-геологических процессов
в ходе функционирования ПТС «Железрудные месторождения КМА»
(на примере Стойленского и Лебединского карьеров)**

Процесс	Условия	Причины	Последствия
ЛОКАЛЬНАЯ ПТС «КАРЬЕР»			
Осыпание	Грунты: связные и несвязные; скальные трещиноватые; угол откоса больше угла внутреннего трения пород.	Выветривание пород. Взрывные работы в карьере	Развивается в течение длительного периода времени. Приводит к выполаживанию откосов, частичному перекрытию нижних площадок уступов
Обрушения	Контакты пород поверхностей ослабления, дизъюнктивных нарушений, зон трещиноватости, падающие в сторону карьера.	Углы падения: поверхностей ослабления 25—30°, трещиноватости 35—40°	Представляют наибольшую опасность для технических средств и персонала. Приводят к выполаживанию откосов, полному или частичному перекрытию нижних площадок уступов
Оползни	Песчано-глинистые породы: низкие прочностные свойства пластичных глинистых слоев в прибортовой части массива, угол падения слоев больше угла внутреннего трения. Скальные породы: наличие глинки трения, заполняющей дизъюнктивные нарушения, падающие в сторону карьера	Изменения напряженного состояния горных пород, не зарегулированность поверхностных и подземных вод, снижение прочностных свойств за счёт увлажнения	Оползни происходят при результирующих углах наклона бортов положе 25—35°. Нарушение технологического ритма, разрушение транспортных коммуникаций (завалы)
Выпирание	Невскрытый слой пластичных глин.	Изменения напряженного состояния горных пород.	Пластические деформации в подошве борта карьера.
ЛОКАЛЬНАЯ ПТС «ОТВАЛ»			
Оползень	Неоднородность гранулометрического состава и низкая прочность пород отвального массива.	Увлажнение пород атмосферными водами. Завышенные параметры откоса отвала	Оползни происходят при результирующих углах наклона бортов положе 10—15°. Уменьшение удельной ёмкости отвала, выход отвала за пределы земельного отвала.
Просадка	Техногенные грунты отвалов, с нарушенной структурой и неоднородным составом (песчано-глинистые и скальные).	Большая высота яруса отвала, создание подземных горных выработок, изменение напряжённо-деформированного состояния глубинной части массива, подстилающего отвала, уплотнение отвальных масс под действием собственного веса.	Дополнительные пригрузки на борт карьера. Создание условий для развития оползней и обрушений
ЛОКАЛЬНЫЕ ПТС «КАРЬЕР», «ОТВАЛ»			
Поверхностная эрозия	Прибортовой массив песчано-глинистого состава	Атмосферные осадки и подземные воды, вытекающие на откос.	Разрушение и подтопление откоса уступов
Фильтрационные деформации	Песчано-глинистые отложения, слагающие борт карьера; подземные воды с техногенным гидродинамическим режимом	Градиент изменения уровня подземных вод в результате работ дренажной системы	Разрушение откоса фильтрационным потоком; подтопление откоса уступов и их частичное разрушение, перекрытие уступов деформированными массами
Суффозия: механическая химическая	Приоткосный массив: сложен обводненными песками. Содержит растворимые породы	Гидростатическое и гидродинамическое давление. Выщелачивание и растворение фильтрационным потоком	Создание условий для развития других процессов

Разработка месторождений полезных ископаемых кардинально изменяет напряжённое состояние горного массива пород (табл. 2). В прибортовых массивах участки пород с изменённым напряжённым состоянием захватывают широкие зоны, являясь областями потенциальных поверхностных разрушений [14, 18].

Борта карьера на *конечных контурах* формируются в толще пород осадочного чехла и массива пород рудно-кристаллического фундамента. С точки зрения строения локальной ПТС «Карьер» следует выделить два инженерно-геологических комплекса: верхний, сложенный рыхлыми и полускальными грунтами, мощностью до 50 м, нижний, представленный скальными породами, мощностью до 600 м, каждый из которых характеризуется собственным набором процессов, проявляющихся в бортах карьеров. Развитие гравитационных процессов в высокопрочных скальных грунтах (плотность 3,6 г/см³, временное сопротивление сжатию 15–30, максимальное 120 МПа) обусловлено наличием складчатости и блочностью массива пород, создаваемой разрывными нарушениями с глиной трения, зонами дробления и расщепления. Борта верхних горизонтов, являясь зонами изменённого напряженно-деформационного состояния (табл. 3), находятся в состоянии временного равновесия, нарушаемого фильтрационными процессами, выветриванием и сейсмическим воздействием массовых взрывов.

Интенсивное выветривание пород, слагающих борта карьеров, провоцирует проявление гравитационных процессов, главным образом осыпей, что приводит к сдвиганию ступеней и изменению конфигурации бортов карьера [18]. В табл. 4 приведены причины и условия развития процессов на территории ПТС «Стойленского и Лебединского карьеров».

Обеспечение безопасности ведения работ требует мониторинга за состоянием приоткосных массивов. Система мониторинг должна включать следующие виды работ, последовательность выполнения которых определяется спецификой решаемых задач.

1. Инженерно-геологическое обследование состояния откосов, мест проявления инженерно-геологических процессов техногенного характера.

2. Опробование горных пород для лабораторных исследований с целью оценки снижения прочности горных пород под влиянием процесса выветривания, повсеместно развивающегося при вскрытии массива.

3. Инженерно-геологическая типизация бортов карьера с учётом литолого-петрографического состава, условий залегания пород, их трещиноватости, блочности и физико-механических свойств, гидрогеологических условий. Выделены пять типов участков с простыми, сложными и очень слож-

ными инженерно-геологическими условиями разработки. Наиболее сложные условия разработки на северо-восточном и восточном бортах карьера. Западный и южный борта относительно благоприятны в инженерно-геологическом отношении.

4. Обоснование местоположения наблюдательных профилей и число реперов с учётом выделенных инженерно-геологических элементов.

5. Маркшейдерские инструментальные измерения по реперам, позволяющие определить показатели, характеризующие процессы деформирования прибортовых прибортовых (приоткосных) массивов: горизонтальные (Δ), и вертикальные (Δ) смещения, м; полный вектор (b) смещения, м; горизонтальные деформации за период между двумя измерениями и за весь период наблюдений.

6. Сравнительный анализ расчётных и натурных данных, характеризующих устойчивость бортов карьера и обоснование оптимальных их углов заложения.

7. Полученные прогнозные оценки устойчивости бортов карьера могут быть использованы при проектировании и разработке месторождений со сходными инженерно-геологическими условиями.

Месторождения полезных ископаемых вызывает кардинальные изменения окружающей среды: атмосферы, литосферы, гидросферы и биосферы. Анализ закономерности изменчивости загрязнения ландшафта в зоне функционирования хвостохранилища свидетельствует о ежегодном возрастании валового содержания железа в радиусе 10 км от источника загрязнения. Соединения железа, азота и нефтепродуктов являются основными загрязняющими компонентами поверхностных и подземных вод. Пылевое облако радиусом 40 км висит в воздухе над Лебединским и Стойленским карьерами; основная масса пыли осаждается в пределах 3–4 км от места взрыва, что за год составляет до 1000 кг/га.

Негативное воздействие испытывает заповедник Белогорье, участок «Ямская степь», расположенные в непосредственной близости от хвостохранилища Лебединского месторождения. На территории заповедника Белогорье по данным режимных наблюдений фиксируется подтопление территории до 2 м, динамика которого носит сложный характер, что потребовало применение управляющих решений [11]. Меры по предупреждению загрязнения участка Ямская степь и заповедника Белогорье: перехват и организованное отведение поверхностных и фильтрационных вод в оборотную систему; поддержание уровня воды в пруду-отстойнике (балка Сура) в пределах 162,5 м, исключающие подтопление территории заповедника.

Заключение

При длительной разработке месторождений КМА открытым способом происходят кардиналь-

ные изменения компонентов природной среды. Ежегодно возрастает содержание вредных компонентов в почвах, грунтах поверхностных водах. Функционирование хвостохранилища является причиной ежегодного роста валового содержания железа в радиусе 10 км. Основными загрязняющими компонентами поверхностных и подземных вод служат соединения железа, азота и нефтепродуктов, превышающие ПДК.

Техногенный режим подземных вод характеризуется определёнными новыми закономерностями. На территории ПТС «Стойленского и Лебединского карьеров» чётко прослеживается тренд снижения уровня подземных вод в районе депрессионной воронки. В районе Стойленского хвостохранилища продолжает сохраняться купол растекания высотой 3 м.

Оценки состояния ПТС в ходе эксплуатации месторождения и результаты математической обработки данных наблюдений позволили оптимизировать систему мониторинга (сократить число наблюдений за уровнем подземных вод, не снижая качества информации).

Лебединское и Стойленское месторождения по инженерно-геологическим условиям относятся к сложным. Рыхлые отложения мезозоя и кайнозоя

верхнего яруса, характеризующиеся относительно низкими прочностными свойствами, склонностью к пластическим деформациям, провоцируют развитие оползневых процессов.

Интенсивное выветривание пород, слагающих борта карьеров, вызывает проявление главным образом осыпей, что приводит к сдвиганию ступеней и изменению конфигурации бортов карьера. Обследование Стойленского и Лебединского карьеров показывает, что скорость развития процесса техногенного выветривания, активизируемого за счёт буровзрывных работ, увеличивает трещиноватость массива.

Рост сферы взаимодействия ПТС ГОК в ходе длительного функционирования приводит к существенному изменению состояния и свойств окружающей среды, что требует корректировки структуры системы мониторинга. Это позволит выработать более эффективные управляющие решения по снижению негативных воздействий на окружающую среду.

На основании информации, полученной в рамках мониторинга рассматриваемых месторождений, можно составить прогнозы состояния природной среды для перспективных месторождений КМА, в частности, Оскольского рудного района.

ЛИТЕРАТУРА

- Андерсон Т. Статистический анализ временных рядов. М.: Мир, 1976. 736 с.
- Бокс Дж, Дженкинс Г. Анализ временных рядов. Прогноз и управление. Вып. 1 и 2. М.: Мир, 1974. 197 с.
- Бондарик Г.К., Ярл Л.А. Инженерная геология. Вопросы теории и практики. Философские и методологические основы геологии. М.: ИД КДУ, 2015. 296 с.
- Будков В.П. и др. Исследование состояния устойчивости бортов карьера, откосов ярусов отвалов с целью прогноза ожидаемых, допустимых и предельных значений деформаций // Отчет о НИР/ФГУП ВИОГЕМ. Белгород, 2003. 122 с.
- Гидрогеология СССР. Том IV. Воронежская и смежные области. Геологическое управление центральных районов. М.: Недра, 1971. 499 с.
- Еланцева Л.А., Акиншин Л.П. и др. Ведение геоэкологического мониторинга подземных и поверхностных вод в зоне влияния объектов Стойленского ГОКа // Отчет о НИР/НТЦ НОВОТЭК. Белгород, 2015. 154 с.
- Железные руды КМА /Под ред. В.П. Орлова. М.: Геоинформмарк, 2001. 616 с.
- Житинская О.М. Обеспечение оптимального функционирования ПТС «Хвостохранилища КМА» на базе прогноза техногенных изменений свойств компонентов системы (на примере Лебединского месторождения) // Труды XI Междун. науч.-практ. конф. «Новые идеи в науках о Земле». Т. 2. М., 2015. С. 292–294.
- Житинская О.М., Ярл Л.А. Изменение компонентов природной среды при длительной разработке месторождений открытым способом (на примере КМА) // Труды XII Междун. науч.-практ. конф. «Новые идеи в науках о Земле» Т. 2. М., 2017. С. 181–182.
- Забусов Н.И., Ряжских М.В., Еrimiца В.Г. и др. Подсчёт запасов подземных вод Лебединского месторождения: Отчет о НИР/ФГУП ВИОГЕМ. Белгород, 2005. 342 с.
- Карачевцев Н.Ф. Экспертная оценка влияния хвостохранилища Лебединского ГОКа с учётом его развития на подземные воды, рекомендации по защите прилегающих территорий от подтопления и водных ресурсов от загрязнения: Отчёт о НИР/НТЦ «НОВОТЭК» Белгород, 2000. 66 с.
- Кендала М., Стьюарт Л. Многомерный статистический анализ и временные ряды. М.: Наука, 1976. 756 с.
- Крайнов С.Р., Швеи В.М. Основы геохимии подземных вод. М.: Недра, 1980. 286 с.
- Кузькин В.И., Ярл Л.А., Кочетков М.В. Методическое руководство по изучению инженерно-геологических условий рудных месторождений при их разведке. М.: РИЦ ВИС, 2003. 153 с.
- Ломтадзе В.Д. Инженерная геология месторождений полезных ископаемых. Л.: Недра, 1986. 272 с.
- Осипенко Е.А. Экологическое состояние природных ресурсов в зоне функционирования хвостохранилища Михайловского ГОКа КМА. Канд. дис ... геол.-мин. наук. Курск, 2008. 156 с.
- Рошаль А.А., Штенгелов А.Р. и др. Создание гидрогеологической информационно-компьютерной системы для управления недрами на территории КМА Белгородской области // Отчёт о НИР/АОЗТ СП «Геолинк». М., 2001. 173 с.
- Ярл Л.А. Инженерно-геологическое изучение процесса выветривания. М.: Недра, 1987. 237 с.

ДИСКУССИИ

УДК 552.578.2.061.3

**К ВОПРОСУ НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ СВЕРХГЛУБОКИХ
ОБЪЕКТОВ СТРАТИСФЕРЫ**

М.З. РАЧИНСКИЙ

*Environmental Solution International (ESI) LLC
а/я 27637, Таусон, Мэриленд, США
e-mail: rachinskymz@gmail.com*

На основании обобщения, анализа и синтеза новейших фактических данных и тематических материалов обосновывается полигенный (органический и мантийный) характер генезиса углеводородов в осадочно-породных разрезах нефтегазоносных бассейнов сверхглубокого заложения в диапазоне глубин более 8—12 км. Предлагается концепция генерации и аккумуляции углеводородов в природных резервуарах по модели термokatализа рассеянного органического вещества в гипсометрическом интервале до 3—5 км и внедрения мантийных флюидов в геологические объекты на глубинах 8—12 км и более.

Ключевые слова: стратисфера; флюидодинамика; гидравлика; нефтегазоносность; сверхбольшие глубины; катагенез рассеянного органического вещества; биогенная и абиогенная генерация; миграция; аккумуляция углеводородов.

**ABOUT OIL AND GAS OCCURRENCES OF STRATOSPHERIC
SUPERDEEP OBJECTS**

M.Z. RACHINSKY

*Environmental Solution International (ESI) LLC
P.O. Box 27637, Towson, Maryland, USA
e-mail: rachinskymz@gmail.com*

Based on the analysis and synthesis of the resent factual data and topic-based materials, polygenous (organic and mantle) nature of hydrocarbon generation in the super-deep petroleum basins sedimentary sections at depth intervals of 8 to 12 km has been substantiated. A hydrocarbon generation and accumulation concept in natural reservoirs under the dispersed organic matter thermocatolysis model at depth interval of 3 to 5 km and invasion of the mantle fluids in geological objects at depths of 8 to 12 km and more has been proposed.

Keywords: stratosphere; fluid-dynamics; oil and gas occurrences; super-depths; dispersed organic matted catagenesis; hydrocarbon biogenic and abiogenic generation, migration and accumulation of hydrocarbons.

Опыт и результаты геолого-разведочных работ (ГРР) в большом числе нефтегазоносных бассейнов мира показывают, что к настоящему времени углеводородный (УВ) потенциал диапазона гипсометрических глубин до 5—7 км в достаточной сте-

пени изучен и дальнейшие основные перспективы добычи нефти и газа связаны с более глубоко погруженными (9—12 км и более) комплексами стратиграфического объёма палеозой-плейстоценовых бассейнов с толщиной стратисферы до 15—32 км

(Южно-Каспийская впадина — ЮКВ). Согласно общепризнанным оценкам извлекаемые запасы УВ в интервале глубин 4,5—8,1 км составляют порядка 7 % мировых запасов нефти и 25 % газа (экспертные оценки US Department of State Energy Administration of US Department of Energy; US Geological Survey World Petroleum Assessment; BP Statistical Review of World Energy, 2017), что представляется достаточно оптимистичным признаком перспектив и более ниже залегающих отложений. В то же время, по данным [14, 26], основные ресурсы УВ (порядка 70 %) локализованы в интервале глубин до 3—4 км. В этой связи принципиально важно при выборе стратегии направлений поисков и разведки определение фазового состояния флюидов, характера и их типов генезиса и балансовых соотношений в разноглубинных частях осадочного чехла.

В реальной геологической обстановке процесс формирования месторождений и залежей осуществляется весьма сложно и облигатно требует соблюдения императивного комплекса необходимых и достаточных условий его реализации, в числе которых обязательным и практически основным является фактор наличия (создания) в резервуарах (ловушках) тем или иным гидравлически дренажным механизмом освобождённых от сингенетичных подземных вод и рассолов, свободных энергоёмких порово-кавернотрещинных циркуляционных пространств (объёмов), способных перемещать и аккумулировать миграционно поступающие высоконапорные УВ [12, 18—20, 27].

Современные техника и технология буровых работ позволяют без особо больших сложностей проводить сверхглубокие скважины до глубин 8—12 км, а также исследовать глубоко погруженные отложения осадочного чехла, находящиеся в специфической весьма жесткой термобарической геологической обстановке¹: температуры — несколько сотен градусов Цельсия (скв. пл. Bertha Rogers на глубине 9583 м > 240° С; на пл. Colton-C на глубине 3220 м — 355° С; в другой скважине, пробуренной в районе молодого вулканизма, на глубине 1440 м измеренная температура достигала 465° С (США); весьма высокое значение пластовой температуры 175° С на глубине 6519 м зафиксировано в Аралсорской сверхглубокой скважине (Прикаспийская низменность, Казахстан). Аномально высокие температуры характерны для Тырнаузской скважины, пробуренной на Северном Кавказе (Кабардино-Балкария, Россия), где на глубине порядка 4 км в толще неостывших молодых гранитов температура составляла 223° С. Особо примечателен в этом плане Британский блок Северного моря, где в месторождениях Джайд и Эйден/Франклин скопления УВ

в юрских песчаниках в интервале глубин 5490—5764 м находятся в зоне пластовых температур > 200° С. Аналогичное явление наблюдается на нефтяном месторождении Эрскин и газовом Широутер, разработка которых началась при пластовой температуре 340° С на глубине 4880 м. Диапазон нефтегазоносности в этом районе охватывает огромный стратиграфический интервал от девона до олигоцена [6].

Анализ материалов по всем бассейнам с весьма глубокими скоплениями УВ фиксирует облигатное в них развитие аномально высоких (нередко выше геостатического уровня) пластовых давлений, крупномасштабной разновременной иммерсии разреза, весьма крупных перерывов (периоды и отдели) в осадконакоплении и факт практически обязательного в них наличия мощных эвапоритовых толщ. Так, в разрезе бассейна Мексиканского залива в среднеюрских отложениях (келловейский ярус) присутствует мощная (до 4 км) автохтонная толща солей, а в вышележающих верхнемиоценовых породах практически повсеместно распространены крупные аллохтонные соляные штоки — ядра протыкания криптодиапирового облика [17, 23—26]. В бассейне Атлантики Сантос (Бразилия) в разрезе стратиграфического диапазона нефтегазоносности неоген—юра установлено наличие мощнейшей эвапоритовой серии отложений (3—4 км) в отложениях апт—альба нижнего мела [16, 23, 24, 26]. Примерно аналогичная ситуация имеет место в верхнепермском разрезе Анадарко и Пермского бассейнов США [17, 23, 25]. При этом во всех случаях присутствие УВ фиксируется как в подсолевых, так и часто в надсолевых объектах. Например, сверхвысокие пластовые давления — десятки и сотни мегапаскаль измерены на пл. Bruner в бассейне Анадарко — на глубине 5882 м давление составляло 132 МПа; на пл. Rainy-Woods в штате Миссисипи на глубине 6767 м — 154,7 МПа, в Северном море на пл. Джайд, Эйден/Франклин измеренные пластовые давления — > 110 МПа [6]. Приблизённая к критическим значениям термобарии ситуация позволяет тем не менее реализовывать генерацию, миграцию флюидов и аккумулировать УВ в природных резервуарах. Примечательно, что в палеозой-нижнемеловых отложениях Пермского бассейна Западного Техаса — сланцевый бассейн Wolfcamp (США) — в обстановке весьма высоких температур и давлений сосредоточены сверхгигантские запасы УВ — 3,2 млрд. т нефти, 16 трлн. м³ газа, 1,6 млрд. баррелей конденсата.

Убедительными фактами могут служить проведённые продуктивные поисково-оценочные скважины: скв. 1 пл. Ralph Lowe — 8692 м (Пермский

¹ Здесь и далее в тексте фактические данные по отдельным скважинам, площадям, залежам, месторождениям; материалы по измеренным пластовым температурам и давлениям; результаты оценки запасов УВ приведены на основании авторской экспертной репрезентативной статистической выборки из огромного информационного массива данных, являющихся коммерческой собственностью нефтяных компаний, корпораций и консорциумов, обеспеченной законной защитой правообладателей.

бассейн); скв. 1-SL-5407 — 7803 м (шт. Луизиана); скв. 1-EE пл. University — 8686 м; скв. 1 пл. Baden Unit — 9159 м; скв. 1 пл. Bertha Rogers — 9583 м; пл. Mills Ranch — 8100 м (все — палеозой, бассейн Анадарко, США); скв. Jacobs-1 — 7554 м; скв. 1 пл. Tiber, открывшая в диапазоне глубин 10,8—12,0 км в палеоцен-эоценовых отложениях (серия Lower Tertiary) и отдельных объектах юры крупнейшее месторождение нефти с геологическими запасами в 1,8 млрд. т.; скв. 1 нефтегазового месторождения Tahiti с извлекаемыми запасами УВ 63,6—79,5 млн. м³ на глубине 7015—8548 м в отложениях нижнего и среднего миоцена; месторождение Kaskida — на глубине 9,8—10,5 км (неоген—палеоген) в объекте 9750 м, содержащем крупное скопление УВ (акватория Мексиканского залива, США). Яркими фактами могут служить также подсолевые месторождения бассейна Сантос (бразильский шельф Атлантики и континентальный склон) с исключительно широким стратиграфическим этажом нефтегазоносности (юра—неоген) — Турі-Уара с запасами 2,1—4 млрд. т в интервале глубин 8 км и более; Carioca Sugar Loaf — меловые отложения с геологическими запасами 11 млрд. т.; Lula с запасами 5—8 млрд. баррелей в нефтяном эквиваленте на глубине более 9 км. В иранской части бассейна Персидского залива на глубине 10,2 км выявлено весьма крупное нефтегазоконденсатное месторождение Chilingar. В Аргентине недавно обнаружено крупное скопление УВ Serra-de-Aguarache с ВНК на глубине 8981 м. Примечательно, что все залежи этих месторождений находятся в термобарической обстановке, не допускающей дифференциальное фазовое состояние органогенных УВ. В то же время приведённые данные вполне адекватно резонируют с концепцией внестратисферной генерации УВ.

Недавно выполненное бассейновое моделирование Южно-Каспийской впадины, основанное на не совсем достаточно методологически корректной экстраполяции с постоянным градиентом современных геотемператур ПТ (продуктивная толща нижнего плиоцена) на сверхглубокие объекты стратисферы [11, 13, 21] рисует довольно искажённую картину соответствия указанной симуляции идиологеме осадочно-породного стадийного катагенетического метаморфизма рассеянного органического вещества (РОВ) по известной схеме Вассевича—Карцева—Лопатина—Неручева [4]. Приведённые авторами сведения о величинах отражательной способности витринита R_0 — 0,6 % в диапазоне глубин 10—12 км и соответствующая этому значению фаза генерации УВ вызывают сомнения в своей релевантности, поскольку этому интервалу глубин в пределах большей части территории региона соответствуют стратиграфические отложения палеоген—неогена, выполненные абсолютно глинистой фацией типичного глубоководного шпир

и преимущественно морскими молассами нижнего плиоцена, по определению, вообще лишенными возможности содержать ископаемые углистые разности, кроме переотложенных из нижезалегающих мезозойских интервалов дельтовых отложений палео-Волги, коренных пород Русской платформы и Средне-Каспийской суши [2, 3, 7, 8, 1].

Полагая «нефтематеринскими» интервалы разреза с содержанием РОВ чаще всего порядка 2—5% и более, органическая концепция генерации УВ в большинстве случаев не учитывает всей истории геологического развития стратисферы бассейнов, где региональный тектогенез практически многократно сменялся регрессивными и трансгрессивными циклами с соответствующим расходным балансом концентрации органики «*in situ*». Таким образом, не исключено, что в ту или иную градацию и фазу гипотетической современной генерации УВ оказываются вовлеченными «материнские» породы, уже потерявшие частично или полностью свой генерационный потенциал, израсходованный в геологические палеоэтапы, характеризовавшиеся значительно более высокими по сравнению с современными палеотемпературами, обеспечившими завершённый термокатагенез РОВ на значительно меньших глубинах и в более древних стратиграфических комплексах. При этом возможно, что на настоящем этапе геологической истории эти «углеводородгенерирующие» породы уже не в состоянии ничего производить — полностью исчерпали свою генерационную способность.

Неучёт указанного обстоятельства и методологически не совсем корректная корреспонденция современных геотемператур ПТ нижнего плиоцена на более глубокие стратиграфические интервалы разреза привели к явно завышенному выводу об «окне генерации УВ» в ЮКВ в диапазоне глубин 5—22 км (нижний плиоцен—палеоген) [9, 13]. При этом не было принято во внимание, что палеотемпературы нижезалегающих отложений миоцена, олигоцена и палеогена были на 17—22° С выше, чем современного нижнего плиоцена региона [1]. Внесение соответствующих корректив существенно снижает интервал органического нефтеобразования с 5—16 км и газогенерации с 16—22 км и более до значительно меньших глубин, что в свою очередь несколько понижает общие перспективы нефтегазоносности сверхглубоких объектов бассейна.

Установленное во всех бассейнах пространственное соответствие и постоянная ассоциация промышленной нефтегазоносности с региональными и локальными пьезоминимумами — ареалами, очагами и пунктами относительно незатруднённого гидравлического дренажа природных резервуаров, создающего в коллекторах ловушек свободное порово-кавернотрещинное пространство за счёт эмиграции сингенетичных им седиментоген-

ных вод и рассолов и реализованного в рамках функционирования пульсационной переточно-инъекционной сквозной субвертикальной межэтажной, межформационной и межрезервуарной гидродинамической системы в диапазоне гипсометрических глубин до 4 км [11, 12, 18—20, 27]. В сочетании с изложенными выше соображениями и неоспоримыми биомаркерами позволяет полагать возможным частичную генерацию определённого объёма УВ как результат термобарометаморфизма РОВ.

С другой стороны, отмеченные выше исключительно жесткие термобарические условия нефтегазоносности весьма глубоких базисных стратиграфических комплексов стратисферы, не позволяющие сохранение от разрушения УВ биосоединений в интервале геотемператур более 150—200° С (известные ограничения «нефтяного окна» [4, 22—24]) в их резервуарах абиогенной компоненты, имеющей глубинное (мантийное) происхождение и отличную от биогенных УВ нанокOMBинаторику несколько иного стабильного в условиях весьма высоких температур и давлений специфического структурно-микрограентного состава (водород, гелий, азот, кислород, железо, золото, серебро, углерод, графит, стронций, литий, уран, радон, сероводород, CO₂, мантийный CH₄ и др.), микрокомпонентных соотношений (ванадий, ртуть и др.) и фазового состояния. Естественно, что попадая в осадочный чехол флюидно-мантийная субстанция, находясь в нём довольно продолжительное геологическое время, может структурно-компонентно трансформироваться, приобретая характерные черты биогенной (осадочно-породной) среды существования.

В последние годы появилось немало нижеперечисленных фактических данных, свидетельствующих о реальной возможности абиогенного синтеза УВ — открытие более 4 тыс. крупных залежей в породах кристаллического субстрата — месторождения Белый Тигр, Дракон (Вьетнам), Ауджила-Нафура (Ливия), Ла-Пас, Мара (Венесуэла), Хьюгтон-Панхэнгл, Уилмингтон (США) и др. [10, 17]. Обнаружение УВ в северной части активно функционирующего мантийного атлантического срединно-океанического хребта — геотермальное поле Lost-City горного массива Atlantis; существование естественных газовых струй (факелов — «чёрные курильщики» и «gas chimney») на морском и океаническом дне с дебитами крупных струй, соизмеримыми с годовой добычей метанового газа в мире — 3,6 трлн. м³ [5]. Выявление весьма большого количества метана на глубине порядка 12 км — далеко вне пределов осадочной толщи в разрезе Кольской сверхглубокой скважины; специфически неорганогенные УВ соединения в кальдере вулкана Узон (Камчатка, все — Россия). Присутствие метана и его гомологов в продуктах извержения вулкана Этна (о. Сицилия, Италия); внестратиферные соотношения изотопов гелия, водорода и

других маркеров внеосадочного генезиса УВ. Фиксация неорганических компонентов, частиц самородных металлов, карбидов и силицидов в продуктах извержения вулканов Кордильер и Анд (Северо- и Южно-Американский материк), парогазовые мантийные флюиды (в том числе, «мантийные воды» [15]) магматических вулканов. Неорганические компоненты (в том числе «инертные газы») в выбросах грязевых вулканов, их сальз и грифонов; метановые атмосферы ряда планет Солнечной системы и др. Как правило, указанные земные проявления пространственно соответствуют конвективным мантийным высокотемпературным плюмам.

Участие абиогенной углеводородной составляющей в формировании промышленного нефтегазонасыщения резервуаров находит объективное подтверждение и в многочисленных документально зафиксированных фактах геологически скоротечных современных перетоков новых порций флюидов в ранее выработанные залежи. Подобная картина наиболее наглядно имела место на Ромашкинском месторождении (Татарстан), где по истечении достаточно длительного времени ряд ранее полностью обводнённых и ликвидированных скважин вновь стал фонтанировать чистой нефтью. Аналогичные промысловые наблюдения неоднократно отмечались в залежах неогена Старогрозненского месторождения (Чеченская Республика), эксплуатация которых завершена в литерных горизонтах сураханской свиты ПТ нижнего плиоцена месторождения Сураханы, свиты VII горизонтов Гарадагского ПХГ (Азербайджанская Республика) и во многих других районах.

Исходя из всех приведённых выше фактов, материалов и соображений и известного принципа презумпции деструкции органических УВ в интервале геотемператур порядка 150—200° С [4, 22—24] представляется допустимым полагать, что углеводородное насыщение стратисферы бассейнов сверхглубокого заложения имеет полигамный характер — верхняя часть их разреза (ориентировочно до глубин 3—4 км) преимущественно насыщена продуктами термкатагенетических превращений РОВ, нижняя часть (интервал глубин 9—10 км и более) абиогенной стабильной мантийной углеводородной субстанцией, не подверженной обычной высокотемпературной диссипации биоорганических УВ. Очевидно, что прогрессирующая с глубиной минимизация условий гидродинамического дренажа природных резервуаров, вероятно, несколько сдвигает соотношение биогенной и абиогенной компонент в пользу первой. Возможность генерации абиогенных УВ, как известно, практически подтверждена широко известными экспериментами Менделеева, Зеленского, Фишера-Тропша и ряда других исследователей.

Очевидно также, что граница смешения УВ различной генерации в зависимости от конкретных

геологических условий бассейна (региона, района), динамики гидравлического дренажа резервуаров может варьировать по стратиграфической и гипсометрической глубинам. С течением геологического времени в результате диффузионных, капиллярных, плёночных, осмотических и прочих микромиграционных процессов геохимический состав УВ может выравниваться по всему разрезу стратисферы и глубинная компонента может оказаться менее репрезентативной («сглаженной»).

В целом представляется, что во всём разрезе земной коры УВ имеют смешанное происхождение. На глубинах, где термобария и флюидодинамическая обстановка обеспечивают термокатагенез РОВ, могут генерироваться и аккумулироваться органогенные скопления УВ, на больших глубинах в условиях жесткой термобарии преимущественным распространением пользуются производные глубинных сфер. В случае особо благоприятных тектонических условий — существенная дислоцированность локальных поднятий, грязевой вулканизм, диапиризм, близость к региональным линейным, мантийные флюиды могут даже «прорываться» на дневную поверхность. Пример — залежи «белой нефти» в литерных горизонтах ПТ месторождения Сураханы в Азербайджане (Апшеронский п-ов) [12, 18, 24].

В рамках изложенной парадигмы представляется вероятным допущение, что УВ насыщение стратисферы бассейнов глубокого заложения могло формироваться в два этапа — первый в интервале глубин до 3—4 км по модели катагенетической трансформации РОВ в гидродинамической обстановке более или менее незатруднённого дренажа природных ловушек; второй — на глубинах осадочного чехла более 8 км — в ходе весьма затруднённого водообмена и бато(лакко)морфной или жильно-дайковой интрузий специфичных мантийных УВ.

Факторами, способствующими аккумуляции УВ в порово-трещиннокавернозных геологических объёмах на сверхбольших глубинах, могут быть облитатные фазовые превращения минералов, флюидов и пород (дегидратация смектитов, деструкция различных газогидратов, переход газов из водорастворенного состояния в свободную газовую фазу, генерация водяного пара из «связанной» воды с осушкой порового пространства, трещиноватость разреза, дилатантные эффекты и пр.), обеспечивающие частичное трансформационное преобразование (ваккумирование) субвертикально ориентированных динамических геологических образований (тел) с непрерывно-прерывистым созданием в них локальных зон геологической турбулентности — пульсационно резко пониженного давления (своего рода «воронки депрессии»), стимулирующего миграцию и аккумуляцию высоконапорных нижних мантийных флюидов.

В рамках предлагаемой концепции представляется необходимым высказать некоторые соображения по поводу существующих воззрений о биогенной природе УВ во всем многокилометровом разрезе литосферы. Обычно в качестве основных аргументов этой позиции приводятся данные различной спектроскопии, хроматографии, споропыльцевых исследований, изотопии гомологов компонентного состава УВ и др. На их основе разрабатываются самые различные количественные соотношения анализируемых объектов — очевидных артефактов применённой аналитики, априорно интерпретируемых как надёжные биомаркеры. Между тем совершенно очевидно, что все они в лучшем случае могут являться лишь свидетельствами контакта проб УВ с химическими реагентами в ходе анализов, вмещающими коллекторами, необходимо содержащими остатки водорослей, бактерий, планктона, растительности, биорганов и другие соответствующих бассейнов осадконакопления.

ЛИТЕРАТУРА

1. Барсков И.С. Биогеографическое районирование в периоды теплой биосферы. Науч. конф. Ломоносовские чтения. Изд-во. М.: МГУ, 2012. 32 с.
2. Батурин В.П. Петрография песков и песчаников продуктивной толщи // Тр. АЗНИИ. Баку, 1931. Вып. 1. С. 24—29.
3. Батурин В.П. Физико-географические условия века продуктивной толщи. Баку // Тр. АЗНИИ. 1931. Вып. 1. С. 29—37.
4. Вассоевич Н.Б. Труды И.М. Губкина о стадийности нефтегазообразования // Изв. АН СССР, сер. Геология. 1971. № 12. С. 120—127.
5. Гаврилов В.П. Прогноз возможных трендов в развитии отечественного и мирового ТЭК // Геология нефти и газа. 2016. № 5. С. 24—31.
6. Гожик П.Ф., Краюшкин В.А. и др. Нефть и природный газ на континентальном склоне Европы // Геология и полезные ископаемые Мирового океана. 2010. № 1. С. 1—35.
7. Горин В.А. Средне-Каспийская впадина и генезис продуктивной толщи. Баку // ДАН Азерб. ССР. 1951, т. VII. № 11. С. 12—18.
8. Горин В.А. К вопросу развития Каспийской впадины в среднем плиоцене // ДАН Азерб. ССР. 1951. Т. VII. № 12. С. 2—31.
9. Гулиев И.С. и др. Нефтегазоносность Каспийского региона. Баку: Изд-во «Nafta-Press», 2009. 408 с.
10. Дмитриевский А.Н. Прогноз нефти и газа // Доклады РАН. 2008. Т. 419. № 3, С. 373—377.
11. Керимов В.Ю., Рачинский М.З. Условия нефтегазообразования в Южно-Каспийском бассейне // Тр. Рос. гос. ун-та нефти и газа им. И.М. Губкина. М., 2010. Вып. 2. С. 12—18.
12. Керимов В.Ю., Рачинский М.З. Геофлюидодинамика нефтегазоносности подвижных поясов. М.: Недра, 2011. 598 с.
13. Керимов В.Ю., Гулиев И.С. и др. Прогнозирование нефтегазоносности в регионах со сложным геологическим строением. М.: Недра, 2015. 405 с.
14. Линдроп Н.Т., Анфилатова Э.Ж. и др. Геологические закономерности размещения и распространения крупных месторождений нефти и газа за рубежом. Л.: Недра, 1970. 151 с.
15. Лукин А.Е. Углеводородный потенциал больших глубин и перспективы его освоения в Украине // Геофизический журнал (Киев) 2014. Т. 36. № 4. С. 1—23.
16. Мезозойско-кайнозойские складчатые пояса. М.: Изд-во «Мир», 1977. Т. 1. 454 с.

17. Перспективные нефтегазоносные провинции Соединенных Штатов Америки. М.: Недра, 1974. 620 с.
18. Рачинский М.З. Гидрогеологические закономерности формирования и прогноз нефтегазоносности в альпийских геосинклинальных регионах. Автореф. дисс. ... докт. геол.-мин. наук. Львов, 1991. 60 с.
19. Рачинский М.З. Флюидодинамический императив нефтегазоносности природных резервуаров // Изв. вузов. Геология и разведка. 2016. № 2. С. 60–67.
20. Рачинский М.З. Флюидодинамический алгоритм нефтегазоносности природных резервуаров // Вестник РАЕН. 2016. № 5. С. 16–24.
21. Buryakovsky L.A., Chilingar G.V. et.al. Petroleum Geology of the South Caspian Basin. Gulf Professional Publishing, 2001. 442 p.
22. Cox B. Transformation of organic material into petroleum under geological conditions «The geological fance». 1946 // AAPG Bull. V. 30(5). P. 645–659.
23. Hedberg H.D. Geological aspects of origin of Petroleum // AAPG Bull. 1964, 48(11) V. 1724. P. 1755–1803.
24. Hunt J.M. Petroleum Geochemistry and Geology. W.H. Freeman and Company Son. San Francisco, 1979. 704 p.
25. The Encyclopedia of World Regional Geology. Part 1. Western Hemisphere. Halsted Press a Division of John Wiley and Sons INC, 1975. 511 p.
26. Future Petroleum Provinces of the United States – Their Geology and Potencial. Published by The American Association of Petroleum Geologist. Tulsa: Oklahoma, USA, 1971. 632 p.
27. Rachinsky M.Z., Kerimov V.Y. Fluid Dynamics of Oil and Gas Reservoirs. Scrivener Publishing. Wiley, 2015. 599 p.

ИЗ ИСТОРИИ НАУКИ

УДК 55(091)

А.Б. МИССУНА: ТЕМАТИКА НАУЧНЫХ РАБОТ И ИХ ИТОГИ

И.А. СТАРОДУБЦЕВА

*Государственный геологический музей им. В.И. Вернадского РАН
11, стр. 11, Моховая ул., Москва 125009, Россия
e-mail: iraidastar@mail.ru*

А.Б. Миссуна (1869—1922) принадлежит к числу первых российских женщин-геологов. Большинство её научных работ посвящено четвертичным ледниковым отложениям, которые она изучила в бассейнах рек Вили, Двина, Неман на территории Беларуси и Литвы. Разработала методику изучения конечных морен и открыла их новые участки распространения. Она занималась исследованием магматических пород Крыма. А.Б. Миссуна автор работ по ископаемым: юрским кораллам Крыма (установила 13 новых видов), каменноугольным рыбам Подмосковья (один вид) и миоценовым диатомовым водорослям (18 видов и два рода). На Московских высших женских курсах создала Геологический кабинет, преподавала там петрографию, общую геологию, палеонтологию и историческую геологию. Организовывала и проводила со слушательницами геологические экскурсии в Подмосковье, Крыму, на Урале. Первая женщина — преподаватель геологических дисциплин в высших учебных заведениях России. А.Б. Миссуна была действительным членом Императорского Московского общества испытателей природы, Санкт-Петербургского минералогического общества, Геологического отделения при Императорском Обществе любителей естествознания, антропологии и этнографии, а также членом-учредителем Русского палеонтологического общества (ныне Палеонтологическое общество при РАН).

Ключевые слова: Высшие женские курсы; конечные морены; юрские кораллы; каменноугольные рыбы; миоценовые диатомовые водоросли.

A.B. MISSUNA: SUBJECTS OF SCIENTIFIC RESEARCH AND THEIR RESULTS

I.A. STARODUBTSEVA

*Vernadsky State Geological Museum of Russian Academy of Sciences
11, building 11, Mohovaya street, Moscow 125009, Russia
e-mail: iraidastar@mail.ru*

A.B. Missuna (1869—1922) was one of the first Russian women geologists. The most part of her scientific works were devoted to Quaternary glacial deposits, which she studied in the basins of Viliy, Dvina, Neman at the territory of Belarus and Litva. She designed the method of the terminal moraines studying and discovered new parts of its distribution. Missuna researched magmatic rocks of the Crimea. She was also the author of the works on fossils: Jurassic corals (13 new species), Carboniferous fishes (1 new species) and Miocene diatoms (2 new genres and 18 new species). She created Geological cabinet at the Moscow Higher Women's Courses and taught there such subjects as petrography, general geology, paleontology, historical geology. She organized and conducted with women students the geological excursions in Moscow region, in Crimea, Urals. She was the first woman teacher of geological subjects in Russian Higher School. A.B. Missuna was a full member of the Imperial Moscow Society of Naturalists, St. Petersburg Mineralogical Society, Geological department of Imperial Society of Nature, Anthropology and Ethnography, as well as the member-founder of Russian Paleontological Society (nowadays Paleontological society at the RAS).

Keywords: Higher Women's Courses; terminal moraines; Jurassic corals; Carboniferous fishes; Miocene diatoms.

Анна Болеславовна Миссуна (1869—1922) принадлежит к первым отечественным женщинам-геологам наряду с Е.В. Соломко (1862—1898), М.В. Павловой (1854—1938) и М.К. Цветаевой (1852—?), которые в своих научных исследованиях отдали предпочтение палеонтологии [18]. А.Б. Миссуна занималась преимущественно геологией и стала известным специалистом по четвертичным ледниковым отложениям. Но среди опубликованных ею 17 работ есть и статьи, написанные по результатам изучения фоссилий, разнообразных по таксономической принадлежности, геологическому возрасту и методике исследования.

верситетах, чтобы восполнить этот недостаток, в Москве было организовано частное учебное заведение — Московские Высшие женские курсы (курсы профессора В.И. Герье). Они просуществовали с 1872 г. по 1888 г. и к моменту приезда А.Б. Миссуны в Москву были закрыты. Она поступила в Первую Московскую зубоврачебную школу. Позднее, узнав о существовании женских курсов «Коллективные уроки», организованных Московским обществом воспитательниц и учительниц, А.Б. Миссуна начала одновременно учиться и там. Её стипендия через год закончилась, и она была вынуждена зарабатывать на жизнь переводами и частны-



Рис. 1. А.Б. Миссуна. Фото 1910-х гг.

А.Б. Миссуна родилась 12 (24) ноября 1869 г. в Лепельском уезде Витебской губернии (ныне Витебская обл., Республика Беларусь) в польской семье. В 1887 г., окончив частную польскую гимназию в Риге, она осталась там учительницей польского языка и арифметики. В 1890 г., после смерти отца, А.Б. Миссуна была вынуждена вернуться домой, чтобы помогать матери в воспитании младших братьев. Три года, что она провела дома, не прошли даром. Анна Болеславовна занималась самообразованием в области естествознания, вела наблюдения за растениями, собирала гербарии и коллекции насекомых, опубликовала первые популярные статьи в журналах *Wszecchiata* (Вселенная) и *Pamiętnik Fizyograficzny* (Физико-географический дневник) [12].

В 1893 г., получив небольшую частную стипендию, А.Б. Миссуна приехала в Москву в надежде продолжить образование. В то время женщины в России не имели права учиться в российских уни-

ми уроками. Совмещать учёбу в зубоврачебной школе и на курсах стало невозможно, и А.Б. Миссуна сделала выбор в пользу «Коллективных уроков». Здесь она изучала химию, физику, зоологию, геологию. Имея уже некоторый опыт зоологических и ботанических исследований, она не стала специализироваться по этим предметам, а увлеклась геологией. Лекции по геологическим дисциплинам читали профессора Императорского Московского университета: В.И. Вернадский (1863—1945) — минералогию, А.П. Павлов (1854—1929) — историческую геологию, В.Д. Соколов (1855—1917) — динамическую геологию. Об этих курсах В.И. Вернадский позднее писал, что «это было законно дозволенное общество учительниц, которое для себя организовало уроки, а фактически высшее образование. Труд профессоров был, конечно, даровой <...> Как только они открылись, я получил возможность проводить курсисток-специалисток на практические занятия в Минералогический кабинет¹ <...> Я

¹ Минералогический кабинет Императорского Московского университета

предупреждал всегда ректора, что провожу эту работу <...> тайным путем. И <...> ректор никогда этому не препятствовал» [5, с. 168]. А.Б. Миссуна стала заниматься минералогией у В.И. Вернадского и выполнила научную работу, по результатам которой написала небольшую статью «О кристаллической форме сернокислого аммония». Весной 1898 г. секретарь Императорского Московского общества испытателей природы (МОИП) В.Д. Соколов на одном из заседаний доложил об этой работе, которая в том же году была опубликована в Приложениях к Протоколам МОИП. 19 ноября (1 декабря) 1898 г., по предложению В.И. Вернадского и В.Д. Соколова, А.Б. Миссуна была избрана действительным членом МОИП [19].

В 1896 г., окончив курсы, А.Б. Миссуна осталась там «бесплатным ассистентом, помогая профессору Коновалову в занятиях по химии; кроме того она устраивала геологические экскурсии, и в качестве выборной руководительницы деятельно участвовала в администрации курсов» [12, с. 13]. Тогда же А.Б. Миссуна приступила к самостоятельной научной работе. Она пришла в науку, как и большинство российских женщин второй половины XIX в., благодаря Высшим женским курсам.

По предложению В.Д. Соколова, с которым всю жизнь её связывали тёплые дружеские отношения, А.Б. Миссуна стала заниматься изучением конечных морен, развитых в Литве и Белоруссии. В год окончания курсов она провела на собственные средства первые самостоятельные исследования. В 1898 г. А.Б. Миссуна стажировалась в Берлине у немецкого геолога, известного своими работами по четвертичной геологии, профессора Гейница (Franz Eugen Geinitz, 1854—1925) [12]. Затем она продолжила начатые исследования конечных морен, которые проводила при поддержке МОИП. Общество способствовало получению ею открытого листа, необходимого в то время для работы в той или иной губернии и по возможности оказывало А.Б. Миссуне материальную поддержку. Так, из протоколов заседаний известно, что, например, в 1900 г. и 1901 г. для проведения этих исследований ей выделялись денежные средства в размере 100 руб.

В 1899 г., как следует из Годичного отчета МОИП, А.Б. Миссуна «по примеру прежних лет занималась исследованием конечных морен в губерниях Виленской, Витебской и, преимущественно, в Минской. Г-же Миссуне удалось проследить конечно-моренные образования на расстоянии слишком 70-ти верст, с большими или меньшими перерывами» [7, с. 107]. Информация о проведенных ей исследованиях в следующем году также содержится в соответствующем Годичном отчете общества. А.Б. Миссуна продолжила работы в тех же губерниях, где обнаружила новые участки конечных морен, а «что касается вертикального строе-

ния ледниковых образований, то в нынешнем году непосредственными наблюдениями добыто лишь немного данных. Эту сторону своих исследований г-жа Миссуна пополнила довольно интересным материалом по разрезам буровых скважин, который был любезно сообщен ей технической Конторой горного инженера Муравского в Вильно» [8, с. 84].

В 1903—1904 гг. А.Б. Миссуна, будучи членом Санкт-Петербургского минералогического общества, по его заданию и при материальной поддержке, провела исследования в Гродненской губернии и Новогрудском уезде Минской губернии. Главной задачей, поставленной перед ней обществом, было исследование простираения конечных морен и вертикального строения ледниковых толщ, а также изучение дочетвертичных образований и сбор ископаемых [15—17].

Подводя итог полевым исследованиям А.Б. Миссуны, отметим, что с 1896 г. по 1904 г. она изучила конечные морены в бассейнах рек Виля, Двина, Неман в пределах Виленской, Витебской, Гродненской и Минской губерний, обнаружила новые участки конечных морен, в том числе участок длиной более 50 км был ею прослежен на водоразделе рек Неман и Молчадь. Как писала М.Е. Мирчинк, «свои исследования она производила одна, пешком или в телеге с помощью случайного рабочего» [12, с. 10]. Кроме того, в Гродненской губернии для детального изучения представительных береговых разрезов А.Б. Миссуна «проехала Неман на лодке из м. Мостов, находящееся недалеко от границы Виленской губернии, до г. Гродно и из Гродно до м. Друскеники» [16, с. 249—250].

Результаты изучения ледниковых отложений А.Б. Миссуна изложила в нескольких работах, опубликованных как в отечественных, так и в зарубежных научных изданиях [13—17, 21]. В первой из них она подробно рассмотрела взгляды немецких учёных Г.М. Берендта (Berendt, 1836—1920), Ф. Ванншаффе (Wahnschaffe, 1851—1914), К. Кейлаха (Keilhack, 1858—1944) и других на «конечноморенные образования», которые в Европейской России и Германии «представляют отложения одного и того же ледника и образовались в одних и тех же условиях» [13, с. 135]. А.Б. Миссуна уделила внимание также работам отечественных исследователей П.А. Кропоткина (1842—1921) и А.Э. Гедройца (1848—1909), сделала обзор работ Г.М. Берендта и А.Э. Гедройца, касающихся изучения ледниковых отложений исследуемой ею области. Отметим, что она всегда тщательно прорабатывала как отечественную, так и зарубежную литературу, изданную по интересующему её вопросу. В работу А.Б. Миссуна включила также главы «Орогидрографический очерк Польско-Литовской полосы озёр» и «Описание конечных морен Литовского края». Она пришла к предварительному выводу, что «в эпоху

отложения наших конечных морен край ледника не представлялся уже сплошным, а разбивался на несколько самостоятельных ледников, приуроченных к долинам современных нам рек. Таким образом, мы имеем полную аналогию с Северной Америкой, где в эпоху отложения конечных морен существовало двенадцать ледников, приуроченных к долинам рек, вполне самостоятельных и следовавших в своем движении топографическим условиям местности» [13, с. 170].

В 1903 г. А.Б. Миссуна подвела итог четырехлетним работам, проведенным в Виленской, Витебской и Минской губерниях, решив поставленные задачи, состоявшие «в исследовании, в общих чертах, простираения конечных морен и в изучении и нанесении на карту разных типов моренного рельефа» [14, с. 1]. Для изучения вертикального строения этих образований в бассейне рек Вилия и Двина она воспользовалась данными бурения и привела в работе разрезы 22 скважин. Сопоставив их, она выделила четыре слоя моренных отложений, разделённых более или менее мощными толщами слоистых песков [14]. А.Б. Миссуна оставила здесь открытым вопрос о числе оледенений в Европейской России. По ее мнению, для ответа на этот вопрос необходимы дополнительные исследования ледниковых отложений, не только естественных разрезов, но и кернового материала. Она писала, что «данные буровых скважин должны заключать в себе образцы моренных глин, взятые на разной глубине, причем особенное значение будут иметь для нас слои, лежащие на границе соприкосновения моренных образований, петрографически различных. Указанный метод имеет широкое распространение у американских геологов и даёт весьма интересные результаты. Кроме поисков и тщательного изучения органических остатков в межморенных толщах, американские геологи обращают особое внимание: на степень выветривания и эрозии слоев, лежащих на границе соприкосновения петрографически различных моренных толщ; на образование почвенных горизонтов в толщах самих глин, выраженных часто лишь более темной окраской гумусовыми веществами некоторых слоев этих глин; на батрологические отношения и топографические условия отложения разных членов ледниковых толщ. Благодаря этому методу, соединенным усилиям американских геологов удалось установить для Северной Америки шесть моренных горизонтов, соответствующим стольким же ледниковым периодам, отделенными друг от друга более или менее продолжительными межледниковыми периодами, в которых происходило размывание и выветривание ледниковых глин, образование почвенных горизонтов и накопление слоистых отложений в озерных котловинах и речных долинах» [14, с. 68—69]. Эту работу А.Б. Миссуна проиллю-

стрировала фотографиями и зарисовками разрезов, а также фотографиями «конечно-моренного ландшафта». Это выражение она использовала для передачи впечатления, производимого «хаотическим накоплением валунного материала при беглом осмотре местности» [14, с. 5]. К работе приложены составленные ею двадцативерстная «Karte der Endmoränen Ost-Litthauen und Weissrussland», ранее вошедшая в ее публикацию в Журнале немецкого геологического общества [21] и десятиверстная «Карта конечных морен Литовского края и Белоруссии», которые «показывают отношения конечных морен к орографии изученной местности», а также карта с изображением участка конечной морены Борисовского уезда Минской губернии [14].

Описанию конечных морен Гродненской губернии и Новогрудского уезда Минской губернии А.Б. Миссуна посвятила отдельные публикации. Так, в результате работ в Гродненской губернии она предположила, что область левых притоков р. Неман «представляет, по-видимому, область продолжительного стационарного стояния ледника» [16, с. 233]. Она пришла к выводу, что в изученной части этой губернии «коренные третичные породы играют ... значительно меньшую роль, чем это представлялось ... предшественникам» [16, с. 299].

В 1915 г. А.Б. Миссуна подвела итог своим исследованиям в Новогрудском уезде [17]. Она писала, что обработка материала затянулась в связи с её исследованиями в Тульской губернии, и статья была сдана в 1909 г., но «печатание её замедлилось по независящим от автора обстоятельствам» [17, с. 164]. Здесь она рассмотрела теории многократного (полигляциализм) и однократного (моногляциализм) оледенений и считала, что обе имеют право на существование. Однако геологическую историю Новогрудского уезда восстановила «с точки зрения единства ледникового периода», т. е. моногляциализма [17, с. 230]. В настоящее время установлено, что эта территория испытала несколько оледенений.

А.Б. Миссуна уделила большое внимание широко развитым в Лепельском уезде лёссовидным породам. Проанализировав высказанные отечественными и зарубежными геологами взгляды на их генезис, она остановилась на гипотезе субаэрального происхождения, разработанной В.А. Обручевым [17, с. 226]. Изучив условия залегания лёссовидных пород, А.Б. Миссуна пришла к выводу, что «новогрудскому лёссу нужно приписать постледниковый возраст» [17, с. 233].

Эту работу А.Б. Миссуна проиллюстрировала зарисовками разрезов, фотографиями эрозионных форм рельефа и Картой ледниковых отложений Новогрудского уезда Минской губернии.

К несомненной заслуге А.Б. Миссуны относятся разработка методики изучения конечных морен,

открытие новых участков их распространения и опубликование значительного объёма фактического материала: подробного описания, зарисовок и фотографий разрезов ледниковых отложений.

Многотемность в научном творчестве А.Б. Миссуны проявилась в её исследованиях по различным областям геологических знаний. Ещё окончательно не закончив подготовку к публикации последних работ по конечным моренам, она приступила к изучению юрских кораллов Судака (Крым). Коллекция этой группы ископаемых была передана ей В.Д. Соколовым, собравшим её в 1884 г. во время геологической экскурсии, предпринятой по заданию Санкт-Петербургского минералогического общества. Обработав этот материал, А.Б. Миссуна опубликовала статью, в которой охарактеризовала 42 вида кораллов (из них 13 новых), отнесённых к 17 родам. Установленные ею виды признаются современными исследователями. Сравнив изученные кораллы с известными из швейцарской юры, А.Б. Миссуна пришла к заключению, что коралловые известняки Судака можно отнести к верхнему оксфорду, чем подтвердила выводы исследователя Крыма и Кавказа К.К. Фохта, но не исключила возможности принадлежности их и к более высоким горизонтам юры [22].

Эта коллекция кораллов из юрских отложений Судака, связанная с именами известных российских геологов В.Д. Соколова и А.Б. Миссуны, хранится в Государственном геологическом музее им. В.И. Вернадского РАН. В коллекции представлено 26 видов (31 экземпляр), из них новые: *Rhippidogyra magna*, *Goniacora taurica*, *Stylina compressa*, *Latimacandra compacta*, *Thecosmilia vasiformis*, *Leptophyllia longistyla*, *Leptophyllia pulchra*, *Aplosmilia*

sokolowii, *Isastraea minima*, *Montlivaultia deformata*, *Montlivaultia piriformis*, *Epismilia sudaghi* (рис. 2—4). В фондах музея хранятся также образцы пород (песчаник, конкреции кремня) и минералов (кальцит, вивианит, галит), привезённые А.Б. Миссуной из районов полевых исследований и геологических экскурсий.

В 1907 г. вышла в свет статья А.Б. Миссуны, в которой она по фрагменту челюсти хрящевой рыбы из каменноугольных отложений окрестностей Коломны установила новый вид — *Edestus karpinskii* (ныне в роде *Protopirata*) [23].

Еще одна палеонтологическая работа А.Б. Миссуны, изданная в 1914 г., написана по результатам

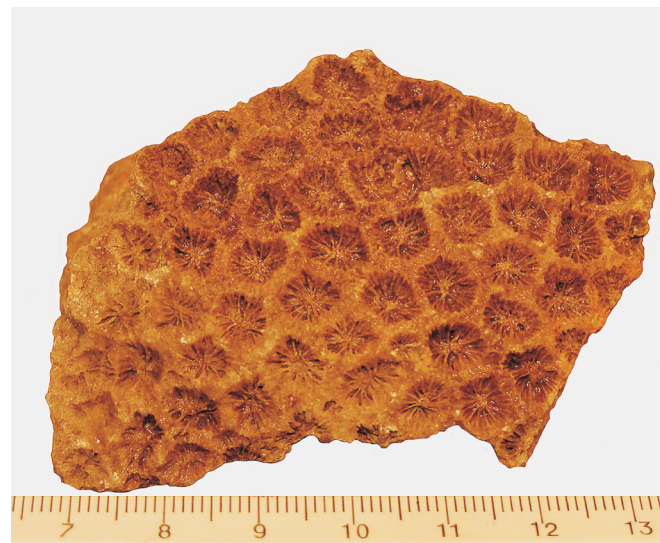


Рис. 3. *Latimacandra compacta*.
Фонды ГГМ РАН (№ ГГМ-1642-06/БП-11346)

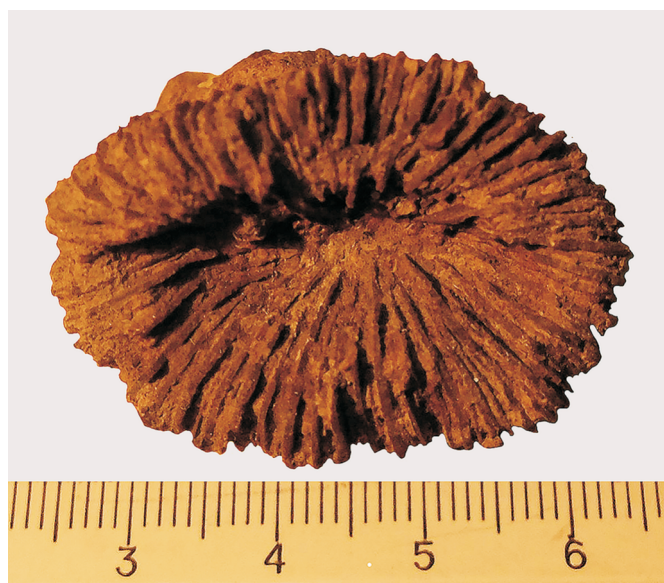


Рис. 2. *Thecosmilia vasiformis*. Фонды ГГМ РАН
(№ ГГМ-1642-09/БП-11349)



Рис. 4. *Epismilia sudaghi*.
Фонды ГГМ РАН (№ ГГМ-1642-26/БП-11366)

изучения миоценовых диатомовых водорослей. Два образца рыхлых сарматских «диатомовых сланцев, происходящих из Молокиша (окрестности г. Балта, ныне Одесская обл., Украина) и мыса Ак-Бурун (Керченский п-ов, Крым, Россия), были переданы ей В.И. Вернадским. Обе пробы содержали большое количество панцирей диатомей и спикул морских губок. Отметим, что ископаемые диатомовые водоросли к тому времени были в России практически не изучены. А.Б. Миссуна посетовала, что, к сожалению, некоторые важные работы по этой группе остались ей неизвестны, и она не смогла познакомиться и со сравнительным материалом, хранящимся в зарубежных музеях [24].

А.Б. Миссуна описала 97 видов и разновидностей диатомей, которые отнесла к 21 роду; из них установлено 18 новых видов и 2 новых рода, один из которых она назвала в честь «своего друга и учителя» В.И. Вернадского — *Vernadskowia*).

В этой публикации, ставшей одной из первых в России работ по диатомеям, А.Б. Миссуна установила в среднесарматских отложениях юга Российской Империи «обильный комплекс морских и солоноватоводных литоральных видов диатомей» [10].

Во время подготовки этой публикации, область интересов А.Б. Миссуны переместилась из палеонтологии в петрографию, она уже занималась изучением магматических пород Крыма. Там она начала работать в 1908 г., сначала изучала геологию в окрестностях д. Отузы (ныне Щebetовка) близ Феодосии, а в следующем приступила к исследованиям магматических пород на южном берегу Крыма в окрестностях деревень Кикенеиз (Оползневое) и Лимены (Голубой залив). Затем она продолжила эти работы в 1911 г. и в 1915 г. К сожалению, статей с изложением результатов исследований А.Б. Миссуна не опубликовала. В 1910 г. на XII съезде русских естествоиспытателей и врачей она выступила с докладом «Следы эруптивизма на южно-крымском побережье» (в соавторстве с В.Д. Соколовым), а в 1912 г. на заседании МОИП сделала сообщение «Об изверженных породах между Лименами и Форосом в Крыму». Наиболее полный отчёт о её исследованиях, проведённых в июне 1915 г. при материальной поддержке МОИП, содержится в Годичном отчете общества. Основной целью работ А.Б. Миссуны было определение возраста эффузивных пород, условий их залегания и площади распространения ранее обнаруженных ею контактово-метасоматических пород. Она установила, что горы Пиляки, Измолос, Хыр (южные отроги Ай-Петринской яйлы) образованы «сложной свитой осадочных и изверженных пород, из коих последние принадлежат двум периодам из-

вержения: к первому периоду извержения принадлежат туфы и лавы, согласно пластующиеся со сланцами, принадлежащими, как это показали палеонтологические находки К.К. Фохта нынешнего лета, к догеру. Породы этого возраста, смятые в складки и круто наклоненные, прорываются, и, отчасти, покрываются лавами, туфами и конгломератами более молодого возраста, значительно более свежими на вид, хотя и мало отличающиеся петрографически. К этому более молодому периоду извержения принадлежат также жилы диабазовых пород, развитых в окрестностях Кикенеиза и залегающие среди превращенных в спилиты сланцев. К контактно-метаморфизованным породам принадлежат также обогащенные скаполитом туфы, залегающие прослоями более или менее значительной мощности среди неизмененных сланцев доггера, указывающие на участие во время извержения пневматолитовых процессов» [9, с. 159].

Отметим, что А.Б. Миссуна в общем правильно подошла к решению стоящей перед ней задачи. В связи с отсутствием публикаций по теме этих работ её наблюдения и выводы остались не известны специалистам, её имя в числе исследователей магматических пород Крыма отсутствует в литературе [6]. Но вклад А.Б. Миссуны в изучение ледниковых отложений, развитых на территории Республики Белоруссии и Республики Литва, оценен по достоинству, и современная литература по данному вопросу изобилует ссылками на её работы [1, 11].

В 1916 г. А.Б. Миссуна и М.В. Павлова стали единственными женщинами среди 50 членов-учредителей Русского палеонтологического общества [20].

А.Б. Миссуна в разные годы проводила исследования в Витебской, Новгородской, Псковской, Уфимской и Московской губерниях, занималась гидрогеологическими изысканиями в Тверской губернии, работала в поисково-разведочных партиях на поисках железных руд и каменного угля в Тульской губернии, уделяла внимание торфообразованию. В 1916 г. она составила Карту-справочник строительных материалов по западному фронту, лист 15 (Лида, Минск, Новогрудск, Слоним-Слуцк).

Научные работы, выполненные А.Б. Миссунной, показывают, как скрупулезно и ответственно подходила она к выполнению стоящих перед ней задач. В.А. Варсанюфьева не случайно отметила, что Анна Болеславовна «своей глубокой и бескорыстной преданностью науке, своим строгим и честным отношением к долгу и своей смелостью и решительностью в достижении намеченной цели — она поражала всех, кому приходилось знакомиться с нею» [2].

А.Б. Миссуна состоялась не только как исследователь, но и как педагог. По приглашению В.Д. Соколова в 1906 г. она начала работать в Геологическом кабинете Высших женских курсов² и много сил отдала его созданию. К моменту её прихода в Геологическом кабинете были лишь шкаф с книгами и одна витрина с окаменелостями. Вся хозяйственная и организационная работа легла на её плечи. А.Б. Миссуна с энтузиазмом взялась за создание кабинета — выписывала книги и коллекции, изготавливала гипсовые модели, привлекала частных лиц к пожертвованию коллекций. В результате Геологический кабинет к 1922 г. обладал «многочисленными систематическими и региональными коллекциями, библиотекой в 2000 книг, всеми необходимыми для работы инструментами, как-то: микроскопами, шлифовальными машинами, фотоаппаратами и т.п.» [12, с. 12].

Как ассистент А.Б. Миссуна проводила со слушательницами занятия по петрографии, общей геологии, палеонтологии и исторической геологии, сосредоточившись позднее только на преподавании последней дисциплины. Она была инициатором и руководителем геологических экскурсий, которые проводила со слушательницами в Подмосковье, выезжала с ними в Крым, на Волгу и Урал. Не случайно В.А. Варсанофьева, учившаяся у А.Б. Миссуны, писала: «Большую роль сыграла Анна Болеславовна в постановке высшего женского образования. Вместе с В.Д. Соколовым она яв-

ляется основательницей Геологического кабинета Московских Высших женских курсов, давших первую в нашем отечестве школу женщин-геологов» [3, с. 147]. В 1911 г. А.Б. Миссуна стала членом Геологического отделения Императорского общества любителей естествознания, антропологии и этнографии, созданного по инициативе учеников А.П. Павлова. В.А. Варсанофьева вспоминала, что на заседаниях Геологического отделения «молодежь сидела на диванах и креслах по стенам под портретами старых деятелей Общества. За центральным столом так ясно вспоминаются фигуры А.П., М.В.³ и В.Д. Соколова, всегда внимательных и полных интереса к нашим сообщениям, А.А. Чернова и А.Б. Миссуны, так доброжелательно поощрявших первые самостоятельные шаги своих учениц» [4, с. 344].

Под руководством А.Б. Миссуны начали свой путь в геологию ставшие впоследствии известными специалистами Е.Д. Сошкина, В.А. Варсанофьева, Т.А. Добролюбова, А.Э. Константинович, М.Е. Мирчинк и другие. Позднее А.А. Чернов «продолжал дело создания школы женщин-геологов, начало которому было положено В.Д. Соколовым и А.Б. Миссуной» [4, с. 281].

Анна Болеславовна Миссуна ушла из жизни в 1922 г., но в истории науки её имя как одной из первых российских женщин-геологов и первой женщины-преподавателя геологических дисциплин в высших учебных заведениях страны останется навсегда.

ЛИТЕРАТУРА

- Басаликас А.Б. О разновидностях конечных морен, встречаемых на территории Литвы // Краевые формы рельефа материкового оледенения на Русской равнине. Труды Комиссии по изучению четвертичного периода. Т. 21. М.: Изд-во АН СССР. 1963. С. 99–112.
- Варсанофьева В.А. Анна Болеславовна Миссуна (некролог) // Известия научн.-эксперим. торф. ин-та. 1922. № 2. С. 2–5. отд. оттиск.
- Варсанофьева В.А. Анна Болеславовна Миссуна // Хроника и личные известия. Ежегодн. Русск. палеонт. об-ва. Т. V. Ч. 2. 1925. Л.: 1926. С. 147–148.
- Варсанофьева В.А. Алексей Петрович Павлов и его роль в развитии геологии. М.: МОИП, 1947. 392 с.
- Вернадский В.И. Дневники: 1926–1934 (составитель д.г.-м.н. В.П. Волков). М.: Наука, 2001. 456 с.
- Геология СССР. Т. VIII. Крым. Ч. 1. Геологическое описание. М.: Недра, 1969. 576 с.
- Годичный отчет Императорского Московского общества испытателей природы за 1898–1899 год секретаря общества В.Д. Соколова // Bull. Soc. Imp. Natur. Moscou. Annee 1899. T. 13. Nouvelle serie. 1900a. С. 92–116.
- Годичный отчет Императорского Московского общества испытателей природы за 1899–1900 год секретаря общества В.Д. Соколова // Bull. Soc. Imp. Natur. Moscou. T. 14. 1900b. С. 69–91.
- Годичный отчет Императорского Московского общества испытателей природы за 1914–1915 год // Bull. Soc. Imp. Natur. Moscou. Annee 1915. T. 29. Nouvelle serie. 1916. С. 137–166.
- Диатомовые водоросли СССР. Ископаемые и современные. Т. 1. Л.: Наука, 1974. 403 с.
- Матвеев А.В., Бордон В.Е. Геохимия четвертичных отложений Белоруси. Минск: Белорусская Навука, 2013. 191 с.
- Мирчинк М.Е. А.Б. Миссуна (1869–1922). М.: МОИП, 1940. 15 с.
- Миссуна А.Б. Материалы к изучению конечных морен Литовского края // Матер. к познанию геолог. строен. Российской Импер. Вып. 1. М., 1899. С. 134–170.
- Миссуна А.Б. Материалы к изучению ледниковых отложений Белоруссии и Литовского края // Матер. к познанию геолог. строен. Российской Импер. Вып. 2. М., 1903. С. 1–72.
- Миссуна А.Б. К геологии Гродненской и Минской губернии (предварительный отчет по исследованиям, произведенным летом 1903 года) // Материалы для геологии России. 1904. Т. XXI. С. 385–402.
- Миссуна А.Б. Материалы для геологии Гродненской губернии // Записки Импер. Минералог. Об-ва. Вторая серия. Ч. XLVII. 1911. С. 233–296.
- Миссуна А.Б. Краткий очерк геологического строения Новогрудского уезда Минской области // Записки Импер. Минералог. Об-ва. Вторая серия. Ч. L. 1915. С. 163–248.

² Высшие женские курсы в Москве вновь открылись в 1900 г.

³ Алексея Петровича и Марии Васильевны Павловых.

18. Наливкин Д.В. Наши первые женщины-геологи. Л.: Наука, 1979. 216 с.
19. Протоколы заседаний Императорского Московского общества испытателей природы. 1898 (февраль, март). № 2, 3. С. 1–8.
20. Стародубцева И.А. Женщины-члены-учредители Русского палеонтологического общества. Анна Болеславовна Миссуна (1869-1922) // 100-летие Палеонтологического общества России. Проблемы и перспективы палеонтологических исследований. Материалы LXII сессии Палеонтологического общества при РАН. ил.; СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2016. С. 304–306.
21. Missuna A. Ueber die Endmoränen von Weissrussland und Litthauen // Zeitschrift der Deutschen geologischen Gesellschaft. 1902. Band 54. Heft 4. Ss. 284–301.
22. Missuna A. Die Jura-Korallen von Sudagh // Bull. Soc. Imp. Natur. Moscou. Annee 1904. T. 18. № 2. 1905. S. 187–228.
23. Missuna A. Ueber eine neue Edestus-Art aus den Karbon-Ablagerungen von Kolomna // Bull. Soc. Imp. Natur. Moscou. Annee 1907. Nouvelle serie. T. 16. 1908. Ss. 529–535.
24. Missuna A. Beitrag zur Kenntniss der fossilen Diatomeen Sudrussland / Сборник в честь двадцатипятилетия научн. деят. В.И. Вернадского. М.: Типолиитограф. тов-ва И.Н. Кушнareв и К°, 1914. С. 138–175.

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 553.45:553.8 (571.651)

КОЛЛЕКЦИОННЫЕ И ЮВЕЛИРНЫЕ КАССИТЕРИТЫ
МЕСТОРОЖДЕНИЯ ИУЛЬТИН

Д.А. ПЕТРОЧЕНКОВ

*Российский государственный геологоразведочный университет
23, Миклухо-Маклая ул., Москва 117997, Россия
e-mail: p-d-a@mail.ru*

На месторождении Иультин (Восточная Чукотка) обнаружены крупные, в том числе уникальные по размеру, кристаллы касситерита коллекционного и ювелирного качества. Последний связан с жильным морфологическим типом рудных тел и приурочен к минерализованным пустотам и мусковитовым оторочкам. Чёрная окраска касситерита обусловлена большим числом зон роста, которые поглощают проходящий свет. В кристаллах присутствуют значительные по объёму бесцветные и разноокрашенные фрагменты, которые могут использоваться для огранки высокого качества. При эксплуатации месторождений олова важным фактором повышения их рентабельности может являться добыча касситерита коллекционного и ювелирного качества.

Ключевые слова: касситерит; коллекционные и ювелирные минералы; месторождение олова Иультин

COLLECTION AND JEWELLERY CASSITERITES OF THE IULTIN DEPOSIT

D.A. PETROCHENKOV

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

The large crystals of the collection and jewellery quality (including the crystals unique by size) have been found at the Iultin deposit (Eastern Chukotka). The jewellery ones are connected with veined morphological type of the ore bodies and located in the mineralized cavities and muscovite fringes. A black colour of cassiterite is conditioned by large number of the zones of the growth which absorb passing light. Significant by volume colourless and different-coloured fragments can be found in crystals. They can be used for faceting of high quality. The cassiterite of collection and jewellery quality is an important factor of profitability's raising in exploitation of tin deposits.

Keywords: cassiterite; collection and jewellery minerals; deposit of Iultin tin.

Касситерит используется как основной источник олова, а также его кристаллы имеют высокую эстетическую ценность. Стоимость крупных кристаллов с хорошо выраженными кристаллографическими формами, алмазным блеском граней на мировом рынке достигает нескольких десятков тысяч долларов за образец [1, 5].

Касситерит по своим геммологическим характеристикам: показателю преломления n_o 1,90—2,01, n_e 2,02—2,12, дисперсии 0,071, твёрдости 6,5—7 по шкале Мооса, разнообразной окраске, несовершенной спайности не уступает многим популярным минералам (рис. 1). Стоимость огранённых кристаллов касситерита часто превышает 100 дол./кар. [6].



Рис. 1. Огранённые касситериты месторождения Иультин: *а* — круг 6 мм, *б* — октагон 5–7 мм, *в* — квадрат 10 мм

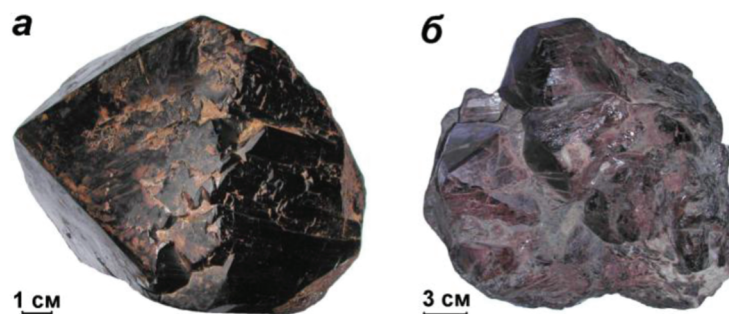


Рис. 2. *а* — призматический дипирамидальный кристалл, 2,7 кг (Музей «Самоцветы», обр. № 3613); *б* — друза призматических дипирамидальных кристаллов, 16 кг (Музей «Самоцветы», обр. № 2681)

Следовательно, касситерит коллекционного и ювелирного качества может существенно повысить рентабельность месторождения, учитывая, что отбор образцов может проводиться попутно, без дополнительных капитальных вложений. К коллекционным образцам относятся кристаллы касситерита размером более 10 мм по длинной оси с хорошими кристаллографическими формами [3]. Кристаллы такого размера могут широко использоваться и для огранки, включая непрозрачные, чёрного цвета (рис. 1, *в*).

В ряду месторождений с коллекционным и ювелирным касситеритом месторождение Иультин занимает особое место. На месторождении были найдены самые крупные кристаллы касситерита (рис. 2). Многие кристаллы содержали прозрачные зоны, пригодные для огранки высокого качества. Найдена уникальная друза крупных кристаллов размером 140 × 110 × 100 мм и массой 16 кг (рис. 2, *б*). Отметим, что систематического отбора коллекционных и ювелирных кристаллов при обработке месторождения не проводилось, в результате многие из них, в том числе уникальные, были утрачены.

Месторождение Иультин (Восточная Чукотка) является типичным примером кварцевого промышленного типа вольфрам-редкометалльно-оловянной формации [2, 4]. Месторождение открыто в 1937 г. В.Н. Миляевым и с завершением строи-

тельства горнодобывающего предприятия, эксплуатировалось в период 1959—1993 гг. Месторождение и в настоящее время обладает значительными запасами качественных оловянных руд и в перспективе, несомненно, возобновится его эксплуатация. В этом же районе расположены и другие месторождения олова: Светлое, Тенкергин, Снежное, на которых присутствует касситерит коллекционного и ювелирного качества. При этом на месторождении Тенкергин касситерит ассоциирует с уникальными (размером до 10 см) коллекционными кристаллами шеелита, а на месторождении Светлое находили высококачественные аквамарины. При возобновлении эксплуатационных работ важным фактором в повышении рентабельности станет и сбор коллекционных и ювелирных минералов.

Характеристика касситерита коллекционного и ювелирного качества

Автором изучены 49 образцов коллекционного и ювелирного качества из минералогических музеев Москвы, Санкт-Петербурга и частных коллекций.

Размер одиночных кристаллов коллекционного качества колеблется от 16 × 11 × 10 мм, масса 7 г до 110 × 80 × 65 мм, масса 2700 г (рис. 2, *а*). Часто размер кристаллов на месторождении превышает

50 мм и массу 300 г. Габитус кристаллов призматическо-дипирамидальный, но в кристаллах преимущественно развиты грани только одной пирамиды. Удлинение кристаллов близко к 1 и, как правило, не превышает 1,5. В одном образце установлено удлинение 2,1, связанное с двойникованием. Основными гранями являются [100], [110], [111], [101], в отдельных кристаллах выявлены грани [011], [320], [210], а также грани пинакоида [001].

Поверхность многих граней гладкая, часто волнистая, ступенчатая, характерны штриховка граней, ямки травления, нарастание мелких кристалликов касситерита. Блеск хорошо сформированных кристаллов алмазный. Грани с тонкими формами дефектов поверхности имеют стеклянный блеск, а грани с плёнками ожелезнения и значительным выщелачиванием поверхности — матовый. Основная часть образцов представлена сростками из двух-трёх кристаллов и более. Встречаются друзы крупных кристаллов (рис. 2, б), а также параллельные и коленчатые двойники. Наиболее характерны сростки касситерита с мусковитом и кварцем, иногда с вольфрамитом и сульфидами, что соответствует составу рудных жил.

Показатель преломления колеблется в пределах: $n_e = 2,03-2,11$, $n_o = 1,9-2,0$; двупреломление $n_e - n_o = 0,11-0,14$; дисперсия — $0,07-0,071$, что соответствует средним показателям для касситерита. Плотность пластин касситерита, перпендикулярных оси c , измеренная гидростатическим методом, колеблется в узком интервале $6,95-6,96$ г/см³. Пластина, изготовленная из внешней части грани призмы параллельно оси c , имеет плотность $6,85$ г/см³. Установленные значения плотности несколько ниже теоретической ($7,08$ г/см³), что связано с присутствием в кристалле газово-жидких включений, микропор и микротрещин.

Наиболее высокая микротвёрдость у граней пирамиды — 1650 кгс/мм², при колебаниях от 1558 до 1690 кгс/мм². Микротвёрдость граней призмы составляет в среднем 1559 кгс/мм², при колебаниях от 1458 до 1658 кгс/мм². Близкую микротвёрдость имеют и грани пинакоида — 1529 кгс/мм², при колебаниях от 1438 до 1626 кгс/мм². Люминесценция

кристалла в коротковолновом и длинноволновом диапазонах не наблюдается.

Подавляющее большинство изученных кристаллов касситерита в отраженном свете — непрозрачные, чёрного, реже тёмно-коричневого, иногда коричневого цвета. Часто наблюдается коричневая непрозрачная оторочка отдельных граней чёрных кристаллов. В проходящем свете значительная часть образцов имеет просвечивающие зоны с различной зональной окраской, как правило, небольшого размера.

Просвечивающие зоны имеют желтовато-оранжевую, оранжевую окраски, характерны бесцветные участки. В отдельных образцах можно наблюдать всю описанную цветовую гамму, распределённую по различным зонам, особенно хорошо видимую в полированных пластинах. Насыщенность цвета не высокая. Наоборот, уровень тона в таких зонах колеблется от среднего до очень тёмного.

Кристаллы касситерита имеют зонально-секторальное строение. Для кристаллов характерна тёмно-коричневая различной насыщенности центральная часть и узкая, шириной $2-3$ мм бесцветная оторочка с хорошо выраженными коричневыми зонами роста (рис. 3, а). Границы окрашенных зон чёткие. Светлая оторочка кристалла состоит из узких ($0,06-0,2$ мм) зон роста различной насыщенности окраски.

Окраска зон роста отчётливо проявляется в шлифах. Ширина окрашенных в коричневый цвет полос, образованных зонами роста, колеблется от $0,001$ мм до $0,07$ мм (рис. 3, б, в). Между цветными полосами расположены значительные по площади бесцветные, прозрачные участки. Важно подчеркнуть, что чёрная и тёмно-коричневая окраски касситерита обусловлены прежде всего частым расположением окрашенных зон роста, которые в сумме и поглощают свет, хотя между ними расположены бесцветные, прозрачные, значительные по объёму участки.

По данным исследований, проведённых на растровом электронном микроскопе (РЭМ), в кристаллах касситерита наблюдаются зоны поперечной



Рис. 3. а — пластина касситерита (толщина 1 мм) с зонально-секториальным окрашиванием; б, в — прозрачные шлифы: б — касситерита с зонально-секториальным окрашиванием, без анализатора, в — восток касситерита (Кв) в основном кристалле, с анализатором

пластинчатости. Толщина пластин в зонах достаточно устойчива и составляет 0,5—1 мкм, ширина колеблется от 6 до 25 мкм. Более узкие пластины образуют параллельные ряды и ступенчатую форму скола (рис. 4, а). В пределах зон характерны микропоры удлинённой формы шириной от 1 до 6 мкм.

На другом участке зафиксировано сочленение под углом 120° двух зон параллельной пластинчатости (рис. 4, б). Одна зона образована узкими (0,5—1 мкм) протяженными пластинами, толщина которых уменьшается в зоне контакта. Пластины другой ориентировки, имея значительную протяженность, более широкие (до 2 мкм) и в зоне контакта расширяются. При пересечении зон они вы-

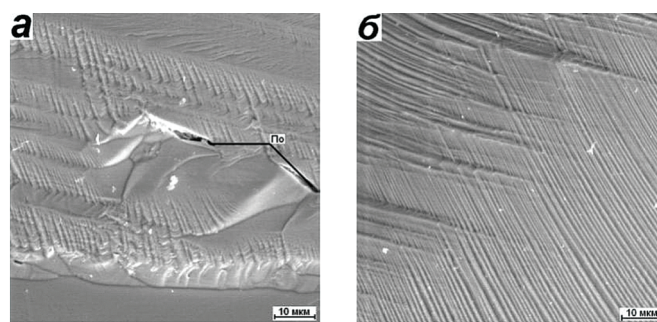


Рис. 4. Кристаллы касситерита с фрагментами поперечно-пластинчатых зон (а) и сочленение разнонаправленных параллельно-пластинчатых зон (б); РЭМ; По — микропоры

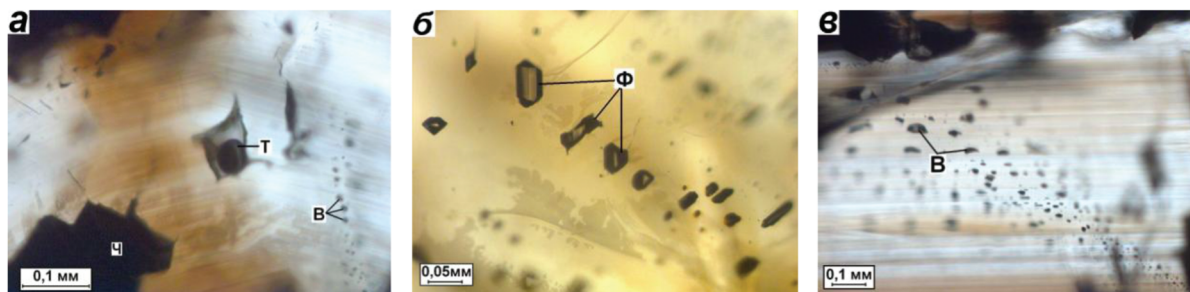


Рис. 5. Пластины касситерита (толщина 1 мм) с различными видами включений: Ч — крупное непрозрачное минеральное, Т — трёхфазное, В — цепочки включений различного состава, Ф — минеральные с чётко выраженными кристаллографическими формами

клиниваются, а участок сочленения приобретает ромбовидный рисунок. Зоны поперечной пластинчатости являются структурным выражением зон роста кристалла. Толщина отдельных пластин сопоставима с длиной волны света, что может оказывать существенное влияние на его прохождение в кристалле.

Включения в касситерите представлены кристаллами других минералов, жидкими (однофазные), газовой-жидкими (двухфазные) и газовой-жидкими с твёрдой фазой (трёхфазные). Включения могут образовывать ориентированные цепочки, которые расположены как согласно зонам роста кристалла, так и под различными углами к ним (рис. 5). По данным исследования на полевом ИК-спектрометре «РІМА-1» выделены включения вернадита, магнетита, гётита и слюд. Их размер 0,05—1 мм, они приурочены к микротрещинам, что указывает на вторичное происхождение. Жидкие и газовой-жидкие включения формируются по зонам деформации кристаллов, по плоскостям двойникования. Их размер колеблется от точечных (несколько микрон) до 0,2 мм (рис. 5). В крупных кристаллах касситерита часто присутствуют вроски мелких кристаллов касситерита размером от 0,01 до 5 мм по длинной оси (рис. 3, в). Вроски преимущественно бесцветные, иногда они имеют

зональную светло-коричневую окраску. Включения широко распространены в касситерите, что существенно ухудшает качество ограночного сырья.

Выводы

При эксплуатации месторождения Иультин в значительных количествах встречались крупные (более 10 мм) кристаллы касситерита коллекционного и ювелирного качества. Часто внешне чёрные кристаллы содержали прозрачные зоны высокого качества, пригодные для огранки. Для крупных кристаллов характерны зонально-секториальное строение с широким развитием зон роста, а также большое число минеральных, жидких, газовой-жидких и газовой-жидких с твёрдой фазой включений. Установлено, что зоны роста структурно выражены зонами поперечной пластинчатости. Толщина пластин сопоставима с длиной волны света, что оказывает существенное влияние на его прохождение в кристалле.

При возобновлении эксплуатации месторождения Иультин, а также аналогичных типов месторождений, попутный отбор кристаллов касситерита коллекционного и ювелирного качества может существенно повысить их рентабельность.

ЛИТЕРАТУРА

1. Буканов В.В. Цветные камни. Геммологический словарь. СПб., 2001. 208 с.
 2. Геология оловорудных месторождений СССР / Под ред. С.Ф. Лугова. Т. 2. Кн. 1. Оловорудные месторождения СССР. М.: Недра, 1986. 429 с.
 3. Методические указания по поискам и перспективной оценке месторождений цветных камней. Вып. 27. Коллекционные камни / Под ред. Н.И. Кашева, В.П. Дроздова. М.: Союзкварцсамоцветы, 1987. 76 с.
 4. Петроченков Д.А. Формационные типы оловорудных месторождений, перспективных на коллекционные и ювелирные касситериты // Изв. вузов. Геология и разведка. 2007. № 2. С. 31–35.
 5. Kolin J.H. Cassiterite from Viloco, Bolivia // Gems & Gemology. Summer. 2002. P. 175–176.
 6. Miler M., Sinkankas S. Standard Catalog of Gem Values. Geoscience Press, Inc. Tucson, Arizona, 1994. 271 p.
-