

ГЕОЛОГИЯ И МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВЫЕ РЕСУРСЫ СИБИРИ

ЕЖЕКВАРТАЛЬНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ



F		
ілавныи	редактор	_

Акад. РАН М. И. Эпов (Новосибирск)

P	ρ	a	n	ĸ	,,	,,	n	н	н	n	я	к	n	п	п	ρ	,	,,	9

Свиньин В. Ф., отв. редактор, зам. гл. редактора (Новосибирск) Афанасенков А. П., д.г.-м.н. (Москва) Брехунцов А. М., д.г.-м.н. (Тюмень) Варламов А. И., д.г.-м.н. (Москва) Герт А. А., д.э.н. (Новосибирск) Добрецов Н. Л., акад. РАН (Новосибирск)

Жаркова В., д.ф.-м.н., проф. (Ньюкасл, Великобритания)

Зайнидинов Х., д.т.н. (Ташкент, Узбекистан)

Конторович А. Э., акад. РАН (Новосибирск)

Крюков В. А., акад. РАН (Новосибирск) Курчиков А. Р., чл.-кор. РАН (Тюмень) Мельников Н. В., д.г.-м.н. (Новоси-

бирск) Похиленко Н. П., акад. РАН (Новоси-

бирск) Птицын А. Б., д.г.-м.н. (Чита) Сейфуль-Мулюков Р. Б., д.г.-м.н., проф. (Москва)

Собисевич А. Л. чл.-корр. РАН (Москва) Старосельцев В. С., д.г.-м.н., проф., зам. гл. редактора (Новосибирск)

Старосельцев К. В., к.г.-м.н., отв. секретарь (Новосибирск)

Тригубович Г. М., д.т.н., проф., зам. гл. редактора (Новосибирск) Шацкий В. С., акад. РАН (Новосибирск) Шин Е. Ч., проф. (Инчхон, Республика Корея)

Редакционный совет Алексеев Г. Ф., к.т.н. (Кемерово) Бакиев С., д.г.-м.н., проф. (Ташкент, Узбекистан)

узовкистан) Будников И. В., к.г.-м.н. (Новосибирск) Васильев В. И., к.г.-м.н. (Иркутск) Гармаев Е. Ж., чл.-кор. РАН (Улан-Удэ) Глинских В. Н., чл.-кор. РАН (Новоси-

бирск) ´ Девятов В. П., д.г.-м.н. (Новосибирск) Ефимов А. С. (Новосибирск) Жуков К. А., к.э.н. (Новосибирск) Клишин В. И., чл.-кор. РАН (Кемерово) Конторович В. А., чл.-кор. РАН (Новосибирск)

Ларичев А. И., к.г.-м.н. (Санкт-Петербург)

Мигурский А. В., д.г.-м.н. (Новосибирск) Поляков А. А. (Москва)

Сальников А. С., д.г.-м.н. (Новоси-

бирск)

Ситников В. С., д.г.-м.н. (Новосибирск)

Смирнов Е. В., к.г.-м.н. (Новосибирск)

Смирнов М. Ю., к.г.-м.н. (Москва)

Татьянин Г. М., к.г.-м.н. (Томск) Филипцов Ю. А., д.г.-м.н. (Красноярск) Черных А. И., к.г.-м.н. (Москва) Шиганова О. В., к.г.-м.н. (Новосибирск) *Эдер Л. В.*, д.э.н. (Москва)

Редакция

Воронина Т. А. Изотова Е. С. Карпунин А. Г.

> 630091, Новосибирск, Красный проспект, 67 Тел./факс (383) 230-94-05 E-mail: journal@sniiggims.ru www.jourgimss.ru

Содержание

Региональная геология, стратиграфия, тектоника	
В. Л. Хомичев, Н. Е. Егорова. Дефекты магмоформационного анализа	
равнины в позднем неоплейстоцене по данным фауны мелких млекопи-	
тающих	
Западной Сибири (по данным изучения фораминифер)	. 25
Нефтегазовая геология $M. Ю. Зубков. Моделирование формирования коллекторов в кремнистых известняках под воздействием гидротермальных флюидов (серии с H_2O_2, HCl и солями)$. 32
территории Западной Якутии	. 49
Геофизика, геофизическое приборостроение А. С. Ефимов, Е. В. Мосягин. Анализ и совершенствование методов поисковой сейсморазведки в Восточной Сибири	74
Литология, петрография, минералогия, геохимия <i>Г. А. Леонова, М. С. Мельгунов, К. А. Мезина, А. Е. Мальцев, Ю. И. Прейс.</i> Природные радиоизотопы и ¹³⁷ Cs в разрезе Шерстобитовского верхового болота Барабинской лесостепи (Западная Сибирь)	
Состояние и перспективы развития минерально-сырьевой базы <i>А. Р. Курчиков, М. В. Вашурина, В. И. Козырев.</i> Современное состояние ресурсного потенциала пресных подземных вод Ханты-Мансийского автономного округа	110
Наши авторы	117



GEOLOGY AND MINERAL RESOURCES OF SIBERIA

N I (45) ♦ 2021 Yanuary –

QUARTERLY SCIENTIFIC AND TECHNICAL JOURNAL

Editor

Acad. RAS M.I.Epov (Novosibirsk)

Editorial board:

Svinyin V.F., executive editor, associated editor, Novosibirsk Afanasenkov A.P. (Mocsow) Brekhuntsov A.M., DSc (Tyumen) Gert A.A., DSc (Novosibirsk)

Dobretsov N.L., acad. RAS (Novosibirsk)

Kontorovich A.E., acad. RAS (Novosibirsk)

Kryukov V. A., acad. RAS (Novosibirsk) Kurchikov A. R., corr. memb. RAS (Tyumen) Melnikov N.V., DSc (Novosibirsk) Pokhilenko N.P., acad. RAS (Novosibirsk) Ptitsyn A.B., DSc (Chita) Shatskiy V. S., acad. RAS (Novosibirsk) Shin E.Ch., PhD, prof. (Incheon, Republic of Korea) Seiful'-Mulyukov R.B., DSc, prof. (Moscow) Sobisevich A. L., corr. memb. RAS (Moscow)
Staroseltsev K.V., PhD, executive secretary (Novosibirsk) Staroseltsev V.S., DSc, prof., associated editor (Novosibirsk) Trigubovich G.M., DSc, prof., associated editor (Novosibirsk)

Varlamov A.I., DSc (Moscow) Zainidinov Kh., DSc (Tashkent, Uzbeki-Zharkova V., DSc, prof. (Newcastle, United Kingdom)

Editorial council:

Alekseev G.F., PhD (Kemerovo)
Bakiyev S., DSc, prof. (Tashkent,
Uzbekistan)
Budnikov I.V., PhD (Novosibirsk)
Chernykh A.I., PhD (Moscow)
Devyatov V.P., DSc (Novosibirsk)
Eder L. V., DSc (Moscow)
Efimov A.S. (Novosibirsk)
Filiptsov Yu.A., DSc (Krasnoyarsk)
Garmayev Ye.Zh., corr. memb. RAS (UlanUde)
Glinskikh V.N., corr. memb. RAS (Novosibirsk)
Klishin V.I., corr. memb. RAS (Kemerovo)
Kontorovich V.A., corr. memb. RAS (Novosibirsk)
Larichev A.I., PhD (St. Petersburg)
Migurskiy A.V., DSc (Novosibirsk)
Polyakov A. A. (Moscow)
Salnikov A. S., DSc (Novosibirsk)
Shiganova O.V., PhD (Novosibirsk)
Sitnikov V. S., DSc (Yakutsk)
Smirnov E.V., PhD (Novosibirsk)
Smirnov M.Yu., PhD (Moscow)
Tatyanin G.M., PhD (Tomsk)
Vasilyev V.I., PhD (Irkutsk)
Zhukov K.A., PhD (Novosibirsk)

Editorial staff

Voronina T.A. Izotova E.S. Karpunin A.G.

> 630091, Novosibirsk, Russia Krasny prospect, 67 Tel./fax +7 (383) 230-94-05 E-mail: journal@sniiggims.ru www.jourgimss.ru

Content

Regional geology, stratigraphy, tectonics	
V. L. Khomichev, N. E. Egorova. Defects of magma formation analysis	3
in the Late Neopleistocene based on data of small mammal fauna	8
V. M. Podobina, G. M. Tatyanin. Boundary deposits of The Turonian—Coniacian of Western Siberia (according to the foraminifera study data)	5
Petroleum geology	
M. Yu. Zubkov. Modeling of reservoir formation in siliceous limestones under the influence of hydrothermal fluids (series with H ₂ O ₂ , HCl and salts)	2
structure of oil and gas traps in the study of petroleum bearing subsurface resources in Western Yakutia	.9
Geophysics, geophysical industry	
A. S. Efimov, E. V. Mosyagin. Analysis and improvement of seismic exploration methods in Eastern Siberia5	6
S. N. Smolin, G. M. Mitrofanov. Search for hydrocarbon accumulations in porous fractured reservoirs using the Prony technology	
E.A. Khogoev, E.E. Khogoeva, M.L.Shemyakin. About the possibility of using the emission of microseims in searching for oil and gas deposits, on the example of Chaikinskaya Area	0
Lithology, petrography, mineralogy, geochemistry	0
G. A. Leonova, M. S. Melgunov, K. A. Mezina, A. E. Maltsev, Yu. I. Preys, M. V. Rubanov. Natural radioisotopes and ¹³⁷ Cs in the section of the Sherstobitovo peat bog of the Baraba forest-steppe (Western Siberia)	6
Raw mineral resource base: current state and development prospects	
A. R. Kurchikov, M. V. Vashurina, V. I. Kozyrev. Current state of the resource potential of fresh groundwater of the Khanty-Mansi Autonomous Okrug	0
Our authors	8



ДЕФЕКТЫ МАГМОФОРМАЦИОННОГО АНАЛИЗА

В. Π . Хомичев¹, Н. Е. Егорова²

¹Сибирский НИИ геологии, геофизики и минерального сырья, Новосибирск, Россия, ²Институт недропользования Иркутского национального технического университета, Иркутск, Россия

Формационный анализ магматических образований — большое достижение советской науки в плане классификации естественных сообществ магматических пород в целях прогноза и поисков связанных с ними месторождений. Но в силу сложности самой проблемы, неопределенности границ между формационными типами в практике геологических работ имеются многочисленные дефекты, которые со всей очевидностью обнаружились при региональной и межрегиональной корреляции магматических комплексов Алтае-Саянской области и Енисейского кряжа. Проанализированы причины и следствия этих дефектов, пути их исправления.

Ключевые слова: магматические формации и комплексы, критерии валидности, дефекты выделения и картирования.

DEFECTS OF MAGMA FORMATION ANALYSIS

V. L. Khomichev, N. E. Egorova

¹Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources, Novosibirsk, Russia; ²Institute of Surface Management of Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

The formation analysis of igneous rocks is a great achievement of the Soviet science in terms of classifying natural communities of magmatic rocks for the purpose of forecasting and prospecting of associated deposits. But due to the complexity of the problem itself, the uncertainty of boundaries between formational types in the practice of geological works, there are numerous defects that were clearly observed during the regional and interregional correlation of magmatic complexes of the Altai-Sayan region and Yenisey Ridge. The reasons and consequences of these defects, ways of their correction are analyzed.

Keywords: magmatic formations and complexes, validity criteria, defects of allocation and mapping. DOI 10.20403/2078-0575-2021-1-3-17

По мере изучения магматических пород становилось очевидным, что, несмотря на их разнообразие, наблюдаются некоторые устойчивые повторяющиеся ассоциации. Поэтому возникла потребность какой-то их систематизации в надежде увязать определенные типы оруденения с определенными же ассоциациями магматических пород.

Так родилась идея о естественных магматических формациях как закономерных генетически связанных ассоциациях магматических пород и руд [6, с. 7]. Общность их происхождения теоретически связывалась с двумя факторами – близким составом исходной магмы и однотипным трендом эволюции магматического процесса. Те же факторы определяют и различия между ассоциациями разных типов. Ограниченное число первичных магм и путей их эволюции (по геологическим наблюдениям и экспериментам) приводили к априорному выводу, что количество магматических формаций (типов) должно быть небольшим. Из этих теоретических предпосылок исходил и Ю. А. Кузнецов в первой классификации магматических формация [6]. Но к тому времени формационное направление уже широко развивалось в СССР и привело к потоку многочисленных конкретных комплексов и формационных типов, основанных на материалах отдельных регионов и даже мелких районов. Это обстоятельство довлело и над Ю. А. Кузнецовым. Вопреки принципиальным научным предпосылкам и соображениям о небольшом количестве формационных типов, следуя уже статистическим опубликованным геологическим данным, он выделил 28 формаций, охватывающих магматизм всех структур Земли – щитов, платформ, устойчивых областей и подвижных зон [6]. Но это не остановило горячие головы. Количество формаций и противоречивых формационных схем продолжало расти. Состав, строение, положение их в общей структуре и истории регионального магматизма потеряло определенность. Широкие разногласия вызвали сомнения в эффективности и целесообразности формационного метода, в объективном существовании естественных ассоциаций магматических пород с устойчиво повторяющимися характеристиками. Высказывались даже предложения заменить магматические формации «объективными» статистическими петрохимическими трендами.

В такой ситуации своевременной стала коллективная монография сотрудников ВСЕГЕИ «Магматические формации СССР» [10], в которой формационный подход был узаконен, а также было четко указано, что главные его задачи — «установление повторяющихся ассоциаций, их типизация, определение объема и границ формационных видов, установление условий их проявления, выявление устойчивых сочетаний формационных видов во времени и пространстве, связей с геологическими структурами, выявление металлогенических осо-



бенностей (связей месторождений определенных типов с определенными видами ассоциаций магматических пород)» [10, с. 7]. Объектами формационных исследований являются магматические комплексы, совокупности магматических комплексов и различные их сообщества. В указанной монографии приведены определения комплекса и формации, согласованные ведущими петрологами после долгих обсуждений и повторенные позже в Петрографическом кодексе. Под магматическим комплексом понимается ассоциация изверженных пород (группа тел) и их производных, слагающих отдельные тела и их совокупности, проявляющаяся в фиксированном геологическом пространстве и времени, обладающая определенными особенностями состава, строения и соотношений с окружающей структурой, указывающими на общность процессов образования членов этой ассоциации» [15]. Это предполагает, что комплекс образован системой геологических тел изверженных пород, располагающихся в пределах ограниченных структурно-формационных зон, в течение определенного ограниченного времени, т. е. возникших в течение одного тектономагматического процесса. Но нигде не говорится, что комплексом может быть какаято отдельная часть магматического тела, а тело в целом может включать несколько комплексов и быть, таким образом, полиформационным. Напротив, магматическое тело (массив) понимается как генетическое целое.

Магматическая формация – это совокупность ассоциаций изверженных пород (комплексов) одного типа, устойчиво повторяющихся в геологическом пространстве и времени и сохраняющих при этом характерные особенности состава, внутреннего строения и соотношений с окружающей средой. Формация предполагает однотипность процессов образования входящих в нее ассоциаций. Таким образом, эмпирико-статистический подход в понимании комплекса и формации, господствовавший прежде, когда накапливался фактический материал, уступил место генетическому принципу, на котором настаивал и Ю. А. Кузнецов. Ассоциации магматических пород образуются не случайно, а по строгим естественным закономерностям, они обусловлены общностью происхождения и потому повторяются многократно в близких геологических условиях, и их не может быть много.

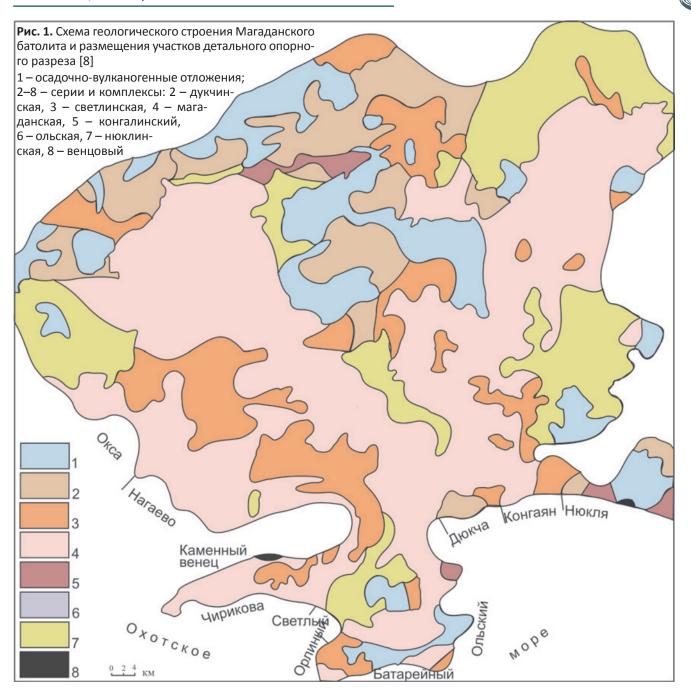
Однако эти строго научные положения Ю. А. Кузнецова на практике не соблюдены. Количество выделенных по частным особенностям формационных типов, в том числе мелких, монопородных и экзотических (ликвационных), явно невалидных, росло беспредельно, и более 100 из них «узаконены» в монографии ВСЕГЕИ [10]. Таким образом генетические петрологические основы формационного анализа (от общих теоретических предпосылок к частному конкретному приложению) уступили прагматическому подходу при геокартировании

через стратиграфию и геотектонику, металлогению и поиски, от конкретных ассоциаций — к обобщению в форме абстрактных формаций. Магматические формации по-прежнему выделяют и характеризуют по привычным внешним факторам — вещественному составу и геологическим условиям, которые не только не несут каких-то определенных ограничительных критериев, но и расширяют комплексотворчество и формационное множество. И такой формационный анализ стал обычным, явно неоправданным методом исследования.

Вопреки ожиданиям Ю. А. Кузнецова, что «при достаточно тщательных полевых исследованиях, сопровождающихся целеустремленной обработкой полевых материалов, расчленение магматических пород не составляет особого труда» [6, с. 1], одновременное массовое геокартирование на огромной территории СССР без какого-либо контроля и координации со стороны главной редколлегии Научноредакционного совета (НРС) и его филиалов привело к широкому разнообразию мнений по основным вопросам не только систематики, но и самого понятия магматической формации, поскольку объем и границы каждого типа определяются с трудом, а то и совсем не могут быть определены. Со всей очевидностью это обнаружилось при многолетних процедурах региональной и межрегиональной корреляции магматических комплексов Алтае-Саянской области и Енисейского кряжа [13, 18].

Одной из главных причин комплексотворчества являются резкие контакты между магматическими породами, обычно интерпретируемые как внедрение молодого комплекса в древний. Можно привести множество примеров, когда резкие контакты даже между близкими породами огульно без размышлений принимаются за межформационные (между комплексами). Особо преуспели в этом Э. П. Изох и др. [8]. На государственной геологической карте листа О-56-І в Магаданском гранитоидном плутоне, прежде относившемся к охотскому комплексу, на основании детального изучения прибрежных скальных прибрежных обнажений на 10 изолированных участках по многочисленным резким контактам, безоговорочно принятым за акты внедрения, выделено семь магматических серий и комплексов с 6-7 фазами в каждом (рис. 1). Размещение их внутри плутона беспорядочное: мелкие бесформенные пятна, не подчиняющиеся каким-либо структурно-тектоническим закономерностям. В результате получилась совершенно невообразимая, необъяснимая, абсурдная ситуация в виде полигенного полихронного плутона. Представить себе механизм формирования этого «лоскутного одеяла» невозможно. На наш взгляд, это пример очевидного петрологического невежества. Повторим, что в Петрографическом кодексе понятие магматического комплекса трактуется как «группа массивов и слагающих их пород, обладающих признаками родства», но не отдельных их частей.





Выделение в одном теле нескольких автономных комплексов невозможно, как невозможны и полиформационные полигенные массивы. Тем не менее карта и объяснительная записка к ней апробированы на всех уровнях и одобрены главной редколлегией и НРС ВСЕГЕИ. Как тут не обратить внимание на то, что Ю. А. Кузнецов особо предупреждал: магматические комплексы всегда многоактные и резкие контакты могут быть межфазовыми. Более того, по опыту непосредственных полевых наблюдений он справедливо утверждал, что пространственное сонахождение магматических пород свидетельствует об их сопроисхождении, в особенности если оно много раз повторяется [7]. Следовательно, Магаданский плутон – это единое тело одного охотского комплекса, а рис. 1 – пример типичного безграмотного комплексотворчества.

Еще более поразительно полное отсутствие на геологических картах фаз становления, когда резкие контакты возникают в моменты остановки кристаллизации расплава в единой камере, детально обоснованные Ф. Н. Шаховым. Суть этого явления для гранитоидных расплавов с летучими компонентами совершенно очевидна: при затвердевании плутона на фронте кристаллизации накапливаются летучие компоненты, которые по мере флюидизации не только замедляют и останавливают кристаллизацию, но и вызывают обратный процесс реакционного физико-химического взаимодействия расплава с только что образовавшейся твердой (еще не консолидированной) породой, которая частично растворяется (разъедается), но главным образом механически дезинтегрируется на псевдообломки (псевдобрекчии), теневые ксе-



№ 1(45) **♦** 2021

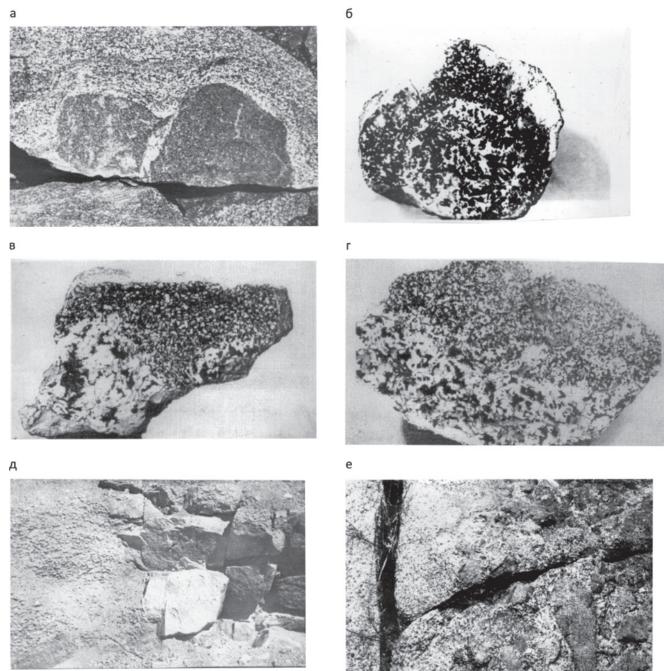


Рис. 2. Реакционные отношения твердой и флюидно-жидкой фаз в период приостановки затвердевания расплава в камере

а — обтекание диоритовым расплавом дезинтегрированных «обломков» габбро, инъекции расплава в «обломки» с выравниванием составов; б — трубчатая инъекция флюидизированного диоритового расплава в габбро во время приостановки кристаллизации; в — реакционные отношения флюидизированного диоритового расплава с габбро; г — то же с выравниванием составов; д — резкая граница лейкогранита с предшествующими биотитовыми гранитами (слева) и постепенный переход между ними (справа вверху); е — мелкие округлые астенолиты (дезинтегрированные «ксенолиты») диорита во флюидизированном граните

нолиты, скиалиты, такситовые меланократовые мнимо гибридные гнезда (рис. 2). После сброса летучих расплав оказывается резко «переохлажденным» и кристаллизуется с резким контактом тонкозернистых фаций, которые принимают за зоны закалки (см. рис. 2, д). Но это не температурный, а физико-химический эффект от влияния летучих компонентов на ход прерывисто-непрерывной кристаллизации эволюционирующей по

составу однажды внедренной магмы. Остановки кристаллизации происходят многократно до самых поздних остаточных гранитов [23, с. 256]. Но такие неизбежные фазы становления плутона геологами еще не осознаны, резкие контакты рассматриваются однозначно как факт внедрения нового расплава (магмы), как граница фаз или комплексов. Это ведет к неоправданному пагубному комплексотворчеству, когда в одном массиве, а то и мелком



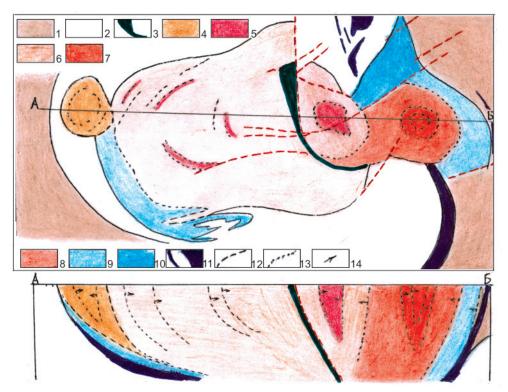


Рис. 3. Джабыкский массив (Средний Урал) по [15], разрез составлен В. Л. Хомичевым 1 — вулканогенно-осадочные отложения P_2 ; 2 — гнейсы, амфиболиты а€; 3—10 — гранито-идные комплексы: 3 — кожубаевский габбро-гранитный (малые интрузии второго этапа), 4 — родничковский монцогранитный (фаза дополнительной интрузии); 5—6 — джабыкский гранитный: 5 — лейкограниты Аякского штока и мелких тел (остаточные), 6 — биотитовые граниты; 7—8 — ольховский гранитный (близконтактовая фация джабыкского), граниты; 7 — мелкозернистые, 8 — средне-крупнозернистые; 9 — мочагинский монцонитграносиенитовый (краевая фация), 10 — великопетровский тоналит-гранодиоритовый (аналогичная мочагинскому краевая фация); 11 — серпентиниты (ранние кристаллизаты исходной базитовой магмы); 12—13 — фазы: 12 — внедрения, 13 — становления (остановки кристаллизации); 14 — перемещение фронта затвердевания (в скобках — примечания В. Л. Хомичева)

штоке выделяют несколько автономных комплексов одного или близкого возраста.

Показательный пример такого комплексотворчества и нелепой интерпретации строения и становления плутонов представляет Джабыкский гранитоидный массив на Среднем Урале. По мнению Т. А. Осиповой [15], массив состоит из семи комплексов, образующих единую концентрически-зональную кольцевую структуру, в которой меланократовые породы слагают периферию, а гранитоиды – внутреннюю область (рис. 3). Да и по вещественному составу они близки: изотопия стронция у всех гранитоидов одна - 0,703-0,704. Поэтому Т. А. Осипова считает, то все семь комплексов образовались из одного корового очага в течение длительного периода его существования (240-280 млн лет) путем переплавления островодужных пород.

Какие возникают сомнения и возражения?

1. Т. А. Осипова, будучи уверена в достоверности радиологического датирования, не усомнилась в том, что очаг не мог существовать 40 млн лет и пережить семь актов тектономагматической активизации.

- 2. Неясно, почему все семь комплексов внедрились в одну точку (одну камеру) закономерным центробежным размещением. Правдоподобнее было бы предположение об их структурно-пространственном разобщении.
- 3. Необъяснимо появление меланократового кожубеевского комплекса в конце гранитоидного процесса в нарушение естественной гомодромной эволюции.
- 4. Т. А. Осипова исключила серпентиниты из Джабыкского массива как чужеродные, а между тем у восточного контакта серпентиниты морфоструктурно согласуются с мочагинскими монцонитами и, очевидно, находятся с ними в родственных отношениях. В таком случае они являются ранними образованиями массива представителем недифференцированной исходной базитовой магмы, а массив одной габбро-гранитной формации.
- 5. Несмотря на исключительно мантийные метки изотопов стронция, Т. А. Осипова не может отказаться от традиционной коровой природы гранитоидов.
- 6. По определению Ю. А. Кузнецова, повторенному в Петрографическом кодексе, комплекс это



группа тел (ареал массивов), характеризующихся общностью. И нигде не допускается, что отдельным комплексом может быть лишь часть магматического тела, в том числе в Джабыкском массиве. Представления Т. А. Осиповой — типичное комплексотворчество. А фактически семь комплексов из одного очага — это семь фаз близкого состава, большая часть которых представляет собой фазы становления (границы между джабыкскими и ольховскими гранитами, между мочагинскими монцогранитами и ольховскими, джабыкскими гранитами и др.).

Джабыкский массив не полиформационный, а многофазный, дифференцированный зональный генетически единый представитель габбро-гранитного формационного типа.

Убедительным и наглядным примером фазы становления при остановке кристаллизации является Ларинская дайка в окрестностях Томска. Она впервые описана К. В. Ивановым как «дайка в дайке» и до сих пор многими воспринимается именно так. Внутри главной крутопадающей дайки монцонита залегает согласная с ней дайка аналогичного состава мощностью 3 м. На хорошо обнаженном верхнем контакте монцониты-2 имеют узкую тонкозернистую кайму, принимаемую за зону закалки, но не наблюдается никаких тектонических признаков внедрения позднего расплава в затвердевший монцонит-1 (дробление, параллельная контактам трещиноватость, тонкие апофизы монцонита-2 по трещинам). Напротив, породы в контакте спаяны в однородную массу. Второго, нижнего контакта во время коллективной экскурсии новосибирские ученые не нашли. Очевидно, его и нет, поскольку монцониты-2 не внедрялись, а образовывались (после остановки кристаллизации в связи с накоплением летучих во фронте затвердевания) с ее возобновлением после их сброса. Тонкозернистая кайма у монцонитов-2 – это не температурный эффект, а признак «переохлажденного» состояния расплава из-за сброса летучих. К сожалению, процесс кристаллизации магм с участием летучих еще не осознан большинством геологов.

Так искажается геологическая история, неправильно преподносится эволюция магматического процесса, нарушаются связи с ним оруденения, исключаются достоверный анализ рудно-магматических систем, их прогноз и поиски. А в ряде случаев такие заблуждения вообще ставят крест на связи оруденения с магматизмом, возрождая ложные гипотезы стратиформного осадочно-гидротермального, осадочно-вулканогенного рудообразования.

В качестве иллюстрации приведем несколько примеров.

Кундустуюльский массив (площадь 60 км²) в Кузнецком Алатау служил петротипом габбро-плагиогранитной формации [6], а при ГСР-50 и ГСР-200 в нем выделены три автономных комплекса: 1) московкинский перидотит-пироксенит-габбровый (фактически мелкие гнезда кумулатов оливина и орто-

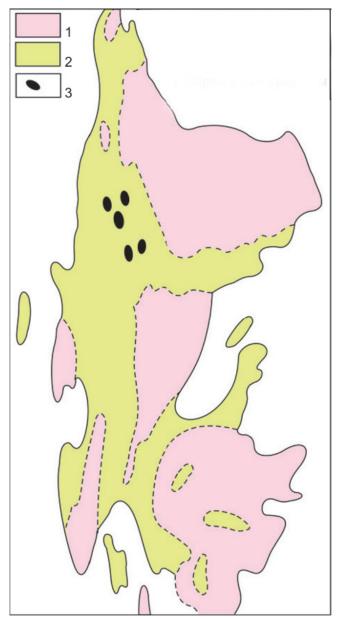


Рис. 4. Кундустуюльский массив

1 — плагиограниты («богородский комплекс»); 2 — кумуляты ультраосновного состава («московкинский комплекс»); 3 — габброиды («кундустуюльский комплекс»)

пироксена), 2) кундустуюльский габбро-диорит-диабазовый, 3) богородский плагиогранитовый (рис. 4). Несостоятельность такого расчленения очевидна и без обсуждения.

В Кандыгатайском массиве (Казахстан), по П. В. Ермолову и др. [3], совмещены четыре одновозрастных (С₂) комплекса (рис. 5), которые, по существу, образуют один гомодромно дифференцированный ряд от саурской габбро-диорит-тоналитовой ассоциации до жарминской гранитовой с подщелоченной кандыгатайской фацией. Меланократовые породы на периферии сменяются к центру все более кислыми, а в ядерной зоне находятся крупнозернистые граниты глубокого уровня. Конформное внутреннее строение, подчиненное округлой морфологии массива, невозможно объяснить многократным внедрением магмы из глубинного очага,





Рис. 5. Кандыгатайский гранитный плутон, по [3]

1 — вулканогенно-осадочный отложения C_1 ; 2—4 — комплексы: 2 — кандыгатайский гранит-граносиенитовый, 3 — керегетас-эспинский щелочно-гранитный, 4 — жарминский гранитный; 5 — саурская габбро-диорит-тоналитовая серия; 6 — послегранитовые дайки гранит-порфиров кандыгатайского (а) и жарминского (б) комплексов

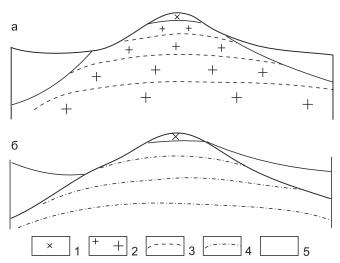


Рис. 6. Разрез купола массива Сарытау (Центральный Казахстан): а — по [28], б — по автору с учетом представлений Ф. Н. Шахова [27]

1—3 — фазы становления: 1 — аплитовидный гранит, 2 — мелко-, средне- и крупнозернистые граниты, 3 — границы фаз; 4 — тонкозернистые фации кристаллизации после остановки; 5— вмещающие породы

как считают П. В. Ермолов и др., а только последовательным центробежным перемещением фронта кристаллизации. Этот естественный принцип становления и зональности гранитоидных плутонов разработан Е. В. Шевченко [28] на массиве Сарытау (рис. 6) и в однозначном виде представлен на Боровском массиве в Северном Казахстане (рис. 7) [9]. Но все эти очевидные закономерности остаются без внимания при государственном геологическом изучении территории России.

В результате многолетних работ на Рудном Алтае корифеи советской геологии выделяли здесь близвозрастные (ϵ_3 -P) и пространственно совмещенные змеиногорский меланократовый и калбинский гранитный комплексы. С первым связывали колчеданно-полиметаллические месторождения, со вторым – редкометалльное оруденение. В легенде ГСР-200 классический калбинский комплекс исчез, а от змеиногорского сохранились лишь реликты. Но зато появилось семь новых невалидных или условно валидных комплексов мелких размеров, локального распространения с незакономерными случайными соотношениями, в том числе с необъяснимым совмещением трех-четырех комплексов в небольших штоках (рис. 8). Много аналогичных примеров критически рассмотрено в [21] и монографиях по рудно-магматическим системам медномолибденовых, золоторудных и полиметаллических месторождений.

Дефекты формационного расчленения магматических пород кроются и в многочисленных петрологических противоречиях [20–23], на которые заинтересованные ответственные лица и организации не обращают внимания. Повторим наиболее важные из них.

Тектоника и магматизм. Тектоническая позиция – одно из главных условий выделения, картирования и корреляции магматических комплексов, продиктованное тесной взаимосвязью тектоники и магматизма. Трудно определить, что из них первично. Магматический комплекс контролируется определенной глубинной тектонической структурой. Этим обусловлены поясовое размещение массивов комплекса вдоль «родной» ему структуры и соизмеримость масштабов тектонических и магматических процессов. Магмоконтролирующей тектоники мелкого масштаба быть не может и, соответственно, не может быть локальных магматических комплексов, а только крупные магматические пояса. Возможно ли в одной структуре несколько комплексов? В Алтае-Саянской складчатой области начиная от Сибирской платформы докембрийский магматизм развит в Протеросаяне и на его продолжении – Енисейском кряже. А далее на юго-запад за глубинным разломом развит кембрийской магматизм (Восточный Саян), потом каледонский (Западный Саян, Тува, Кузнецкий Алатау) и герцинский (Горный Алтай, Салаир). Наложение молодого магматизма на более древний может наблюдаться



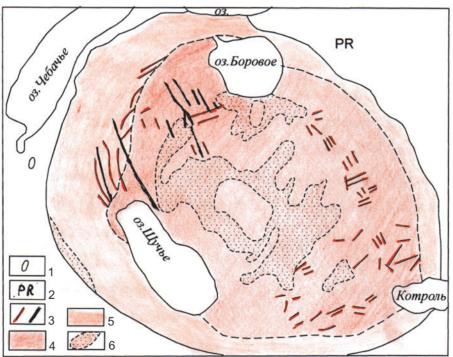
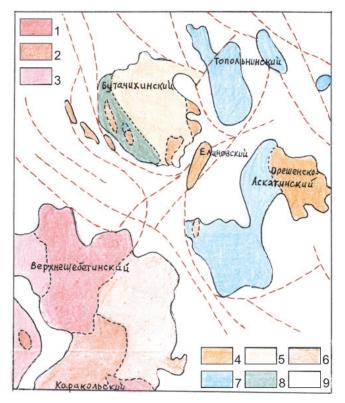


Рис. 7. Боровский гранитоидный массив (Северный Казахстан), по [3] Вмещающие породы: 1 — ордовика, 2 — докембрия; 3 — дайки кислого и основного состава; 4—5 — фазы становления: 4 — крупнозернистые биотитовые граниты фации ядра, 5 — мелкозернистые порфировидные граниты эндоконтактовой фации, 6 — аплитовидные разности



в пограничной полосе, а крупноплощадное совмещение допустить трудно. Тектономагматическая активизация консолидированных областей происходит по новым секущим структурам и отношения к предыдущей не имеет. Как закон: в пределах одной структурно-формационной зоны любого уровня нескольких магматических комплексов не может быть. В частности, пять комплексов в топольнинском ареале суть пять фаз одного герцинского комплекса Р—Т (см. рис. 8). Пять серий и два комплекса в Магаданском плутоне, безусловно, один многофазный габбро-гранитный комплекс, причем

Рис. 8. Топольнинский магматический ареал (Горный Алтай, лист М-45-I), по В. А. Кривчикову и др. (2001) 1—8 — комплексы: 1 — белокурихинский гранитный Р–Т, 2 — боровлянский гранитный D_3 , 3 — устьбеловский гранитный D_3 ; 4—5 — елиновско-бутачихинский D_3 : 4 — рибекитовые граниты, 5 — биотитовые граниты; 6—8 — топольнинский D_2 : 6 — лейкограниты, граниты, 7 — диориты, 8 — габброиды; 9 — вмещающие породы $O-D_1$

большая часть фаз в нем – это фазы становления, а не внедрения (см. рис. 1).

Несомненная связь тектоники и магматизма, к сожалению, только постулируется, но серьезно не рассматривается, не используется, и совмещение в одной структуре нескольких комплексов наблюдается постоянно и никого не смущает. Вот уж поистине, как говорится, разум имеет пределы, а глупость беспредельна.

Возрастные противоречия. Геологический возраст — важная характеристика магматического комплекса. Когда он обеспечивается надежным фактическим материалом, дискуссий не возникает. С региональных позиций, оперируя всей совокупностью материалов по массивам магматического комплекса, удается установить и нижнюю (по одним телам) и верхнюю (по другим) временные границы. Дополнительным аргументом служит стратиграфическая колонка, поскольку в период тектономагматических событий в регионе отмечается крупный четко выраженный перерыв в осадконакоплении, а в базальных конгломератах после перерыва присутствует галька пород нижележащего комплекса.

Такие тектономагматические комплексы, как правило, бывают крупными, протяженными, заведомо валидными, реперными в истории региона. Но при господствующем сейчас локальном породном геокартировании их разрывают на мелкие



подразделения, главным образом по дефектному радиологическому датированию [4]. В 2006 г. в Западно-Сибирском петросовете состоялось специальное совещание по достоверности радиологического датирования, на котором были продемонстрированы многочисленные недостатки изотопных данных, предложено сосредоточить внимание на научно-методологической стороне изотопных исследований с использованием надежных геологических полигонов [14]. Однако мода на радиологию продолжается в еще большей мере. К примеру, С. Н. Руднев на ограниченном участке Каахемского плутона (Тува) по семи пробам получил дискордантные датировки в интервале 450-562 млн лет и, безоговорочно принимая их за возраст пород, выделил семь автономных гранитоидных комплексов, ни один из которых не удовлетворяет элементарным требованиям Петрографического кодекса.

Другая сторона проблемы геологического возраста — продолжительность формирования магматического комплекса. Чисто теоретически тектономагматический процесс знаменует активный, революционный этап развития недр Земли, этап разрядки внутренней энергии, накопленной за длительный эволюционный период, поэтому он весьма кратковременный. Ю. А. Кузнецов оценивал его в первые миллионы лет. По расчету периода кристаллизации магмы продолжительность становления массивов составляет от 400 тыс. до 1 млн лет [2, 26]. Время становления молодых мезозой-кайнозойских габбро-гранитных комплексов, по которым ошибка радиологических определений невелика, колеблется, по разным авторам, от 1–2 до 3–4 млн лет [17].

На этом фоне совершенно неприемлемыми становятся предположения ряда ученых о том, что главным фактором образования крупнообъемных месторождений является весьма длительное (от 100 млн лет и более) многоэтапное функционирование их магматогенной системы. Главным аргументом служит дефектное изотопное датирование, а каких-то петрологических объяснений столь невозможно длительного существования крайней неустойчивой рудно-магматической системы не приводится. Их просто быть не может.

Вещественная общность пород магматического комплекса как производных одной исходной магмы представляется совершенно очевидной. Но в эту закономерность решительно вмешивается неизбежная дифференциация расплава. В особенности это относится в ликвации, когда возникают порой контрастные породы, резко отличающиеся от предшествующих. Поэтому в Петрографическом кодексе общность состава определяется как направленное его изменение — закономерный, выдержанный тренд. Но в практике геологических работ это положение часто не учитывают и вместо прослеживания фациальных вариаций и выяснения их причин выделяют все новые и новые липовые комплексы. Чаще всего используется щелочность. Можно при-

вести много примеров, когда тела с повышенной щелочностью выделяют как «комплекс в комплексе» нормальных известково-щелочных пород (см. рис. 1, 3, 4, 8). Хотя общеизвестно, что щелочи весьма подвижны в магматических процессах, неизбежно мигрируют на участки пониженных давлений и температур, образуя подкровельные и приконтактовые фации повышенной щелочности. Кроме того, они накапливаются в поздних расплавах, обусловливая повышенную щелочность заключительных фаз, апофиз, даек. Такую локальную петрографическую щелочность конкретных тел и их ареалов следует отличать, как подчеркивал Д. С. Штейнберг, от формационной щелочности комплексов, которая характеризует весь набор пород и определяет их серийную принадлежность.

Аналогичные замечания касаются и других петро-геохимических показателей (железистость, глиноземистость, титанистость, распределение редких и редкоземельных элементов). В итоге можно сослаться на Ю. А. Кузнецова: «Конкретные магматические формации, как правило, чрезвычайно сложны и изменчивы по своему составу, в этом многообразии естественных ассоциаций бывает очень трудно найти какие-то общие признаки, характеризующие тот или иной формационный тип» [6, с. 22].

Малые интрузии и дайки самого разнообразного состава широко распространены на всех континентах, особенно в рудных полях, связанных с гранитоидными плутонами. Они настолько тесно связаны с рудообразованием, буквально вплетаются между стадиями рудоотложения, что оторвать их от единого магматического процесса невозможно. Но появление диабазовых и лампрофировых даек на стадии телетермального оруденения и даже после него, т. е. на этапе отмирания рудообразования, многие годы было загадкой. Кроме того, в молодых областях тектономагматической активизации широко развиты пояса даек вне видимой связи с гранитоидами. Все это послужило поводом выделить автономные комплексы (формации) малых интрузий. Благодаря авторитету Ю. А. Билибина, его гипотеза широко распространилась, но под влиянием фактических данных вскоре была оставлена. Проблема даек и малых интрузий решена в монографии [22], и нет смысла ее обсуждать. Дайки и малые интрузии не имеют самостоятельного значения и должны включаться в основные магматические формации [21-24].

Противоречия в генезисе кислых вулканических и плутонических пород — главное петрологическое заблуждение, которое, как ни странно, не привлекает внимания. Кислые вулканические породы (риодациты) рассматриваются как поздние внутрикамерные дифференциаты исходной базальтовой магмы и в отрыве от базальтов (автономно) не встречаются [29]. Гранитоиды же однозначно считаются ультраметаморфическими выплавками вне какой-либо связи с базальтовой магмой.



Иными словами, риодациты — мантийные породы, а граниты — коровые, палингенные. Генезис первых очевиден из прямых наблюдений за вулканическими извержениями. А природа гранитоидов совсем не очевидна, только умозрительна в соответствии с экспериментами Х. Винклера и Х. Платена по плавлению песчано-глинистых смесей. Многочисленные огромные гранитоидные плутоны, составляющие по площадным подсчетам 90 % интрузивных пород, поневоле наводят на мысль о существовании самостоятельного процесса гранитообразования вне связи с базальтовой магмой. Так возникла гипотеза о первичной гранитной магме, невзирая на явные непреодолимые противоречия, подробно изложенные в [21—23]:

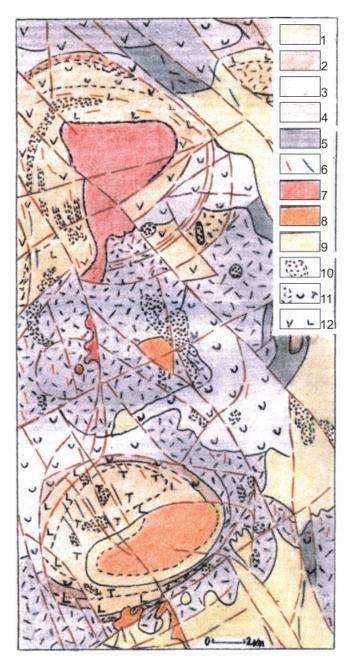
- 1. Если бы гранитная магма рождалась в результате ультраметаморфизма, то крупные плутоны должны были размещаться преимущественно в гранитогнейсовых куполах, чего в природе нет. При ультраметаморфизме выплавляются мелкие изолированные гнезда, линзы, жилы, штокверки мигматитов.
- 2. В силу малых объемов, низкой температуры (700—750 °C), узкого интервала кристаллизации (50°) и очень высокой вязкости (10^{10} — 10^{12} П) анатектические выплавки не могут образовать крупнообъемных тел и внедриться на гипабиссальный уровень. По расчетам В. Н. Шарапова, даже в оптимальных условиях кислый расплав может переместиться на первые сотни метров и уже при небольшом падении давления и температуры схватывается и затвердевает [25]. Следовательно, мигматитовые выплавки не могут быть источником гранитоидных плутонов.
- 3. Общепринятая идея Е. К. Устиева о комагматичности вулканического и плутонического магматизма несовместима с палингенным гранитообразованием, поскольку в этом случае у них разная природа: мантийная у одного и коровая у другого. Комагматичность сомнений не вызывает, и интрузивные комплексы часто выделяют на основании видимой или предполагаемой связи с вулканическими свитами. Очень убедительна в этом отношении вулканоплутоническая ассоциация г. Сарыоба (интрузив под вулканом) севернее месторождения Коунрад. (рис. 9). Здесь две равновеликие вулканические постройки сложены кольцевыми и дуговыми телами основных (внизу) и кислых (вверху) пород и в центре инъецированы гранитоидами. Вулкани-

Рис. 9. Вулканоплутоническая ассоциация г. Сарыоба («интрузив под вулканом») (P_2 – T_1)

1-5 — вулканические отложения: $1-P_2$, $2-P_1$, $3-C_3-P_1$, $4-C_{2-3}$, $5-C_1$; 6-9 — породы Прибалхашского плутона: 6 — дайки кислого и основного состава, 7 — граносиениты Р—Т (кызылрайский комплекс, по легенде), 8 — граниты, аляскиты C_2 (кокдомбакский комплекс), 9 — гранодиориты, диориты C_1 (топарский комплекс); 10 — вторичные кварциты; 11 — риолиты, дациты, трахиты в составе вулканогенных отложений; 12 — андезиты, базальты в составе вулканогенных отложений

ческие отложения разделены перерывами на четыре свиты, которым приписаны возрасты P_2 , P_1 , C_3 – P_1 , C_{2-3} . Исходя из комагматичности гранитоиды также разделили на три комплекса: кызылрайский (P–T), кокдомбакский (P_2) и топарский (P_1). При этом были допущены следующие ошибки.

- 3.1. Вулканический процесс, конечно, многоактный и перерывы разделяют его стадии, но не автономные вулканические комплексы, как сочли авторы карты.
- 3.2. Гранитоиды внедряются, вписываются в вулканические постройки после самых молодых отложений, т. е. они комагматичны вулканическому процессу в целом, а отдельные вулканические пачки интрузивных аналогов иметь не могут, поскольку интрузивный комагмат формируется на регрессивной стадии вулканоплутонического процесса после полного завершения прогрессивной вулканической стадии [21–24].





3.3. Обе вулканические постройки (и хуже выраженные мелкие в промежутке) идентичны по составу и в генетическом плане являются надынтрузивными выступами огромного Прибалхашского плутона, как наглядная иллюстрация модели Ю. П. Масуренкова «вулкан над интрузивом» [11]. Разделение их на три самостоятельных комплекса абсурдно и со всей очевидностью свидетельствует о вреде комплексотворчества. Непонимание этой простой истины ведет к искажению природных явлений, к ложным представлениям в геологической истории. В частности, разве могут быть комагматами гранитоиды и вулканиты г. Сарыоба, если первые считать коровыми (по легенде), а вторые – мантийными? А если их комагматичность не вызывает сомнений, то и природа их должна быть одной мантийной.

4. Состав мигматитовых выплавок отвечает котектике и не может объяснить широкого разнообразия пород (до габброидов) в гранитоидных плутонах. Попытки привлечь к этому объяснению ассимиляцию несостоятельны из-за дефицита энергетических возможностей у котектического расплава.

5. Выплавки из относительно сухого безрудного гнейсового субстрата не обладают рудообразующей способностью. Они везде рассматриваются как бесперспективные и не могут быть источником рудоносных гранитоидных плутонов.

6. С позиций анатектического гранитообразования невозможно объяснить происхождение даек средне-основного состава, лампрофиров, сложных даек. Корифеи петрологии не сумели решить проблему даек второго этапа именно потому, что придерживались гипотезы автономного корового гранитообразования. И только ревизия этой идеи в пользу мантийного происхождения гранитоидов (а точнее, в пользу внутрикамерной дифференциации исходной базальтовой магмы) позволила решить эту проблему [23].

7. Серьезный урон палингенезу нанесли изотопные исследования, по которым получают все больше данных против коровой природы гранитоидов и связанного с ними оруденения [1].

Перечисленные возражения против коровой природы гранитоидов хорошо известны петрологам, но отказаться он нее не хватает духу, прежде всего потому, что по площадным подсчетам соотношение граниты: габбро составляет 90:10. Но никто не усомнился в их достоверности, хотя априори ясно, что горизонтальный срез плутонов (по поверхности Земли) не может характеризовать объемные соотношения в нем пород, поскольку большая нижняя часть плутонов основного состава в подсчеты не попадает.

Немаловажная причина заблуждений в области генезиса гранитоидов в том, что мы не знаем внутреннего строения плутонов. По первым геофизическим работам регионального профиля стало ясно, что они не бездонны. Гранитоидные плуто-

ны — это пластовые межформационные лополиты сравнительно небольшой мощности и огромной горизонтальной протяженности. Кислые породы слагают их верхнюю часть и подстилаются основными [5, 12]. Но это соображение только общего порядка.

Ситуация изменилась, когда в СНИИГГиМС была разработала программа GEOLAB для пересчета наблюденного гравимагнитного поля в вертикальное пространство [18]. Глубинное моделирование по 43 плутонам из разных регионов показало, что все они устроены одинаково: это межформационные горизонтально расслоенные тела с нарастающей книзу основностью. Объемные соотношения гранитоидов (верхний слой) и габброидов (нижний) в точности соответствуют соотношению риодациты: базальты (10–15): (90–85). Тем самым устраняется миф о резком преобладании гранитов над габбро и, напротив, допускается не только возможность, но и неизбежность их образования за счет дифференциации первичной базальтовой магмы.

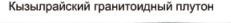
Внутреннее строение плутонов всегда конформное со строгой гомодромной центробежной последовательностью пород и фазово-фациальными отношениями между ними. Нижняя граница гранитоидов всегда ровно волнистая, без подводящих каналов. Значит, граниты не внедрялись, а образовывались на месте как низкотемпературные продукты внутрикамерной дифференциации основной магмы (рис. 10), равно как риодациты – в периферическом вулканическом очаге. Иначе говоря, строго научно разрешается противоречие в генезисе кислых вулканических и плутонических пород, снимаются несоответствия в проблеме комагматичности вулканоплутонических ассоциаций. Более того, становится очевидным, научно обоснованным процесс естественного возникновения внутри гранитного тела остаточного лейкогранитового очага – источника рудообразования; становится понятной давно известная связь оруденения именно с малыми телами самых поздних кислых гранитов.

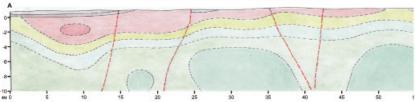
В свете изложенных генетических данных вывод о базальтоидной природе гранитоидов не может более дискутироваться. Пришла пора отказаться от первичной палингенной гранитной магмы, которая внедряется по желанию исследователей куда угодно (комплекс в комплекс, фаза в фазу), когда угодно и сколько угодно раз. Как следствие, необходимо изменить парадигму региональной петрологии, провести ревизию серийных легенд и карт, пересмотреть поисковые критерии и т. д.

В первую очередь следует отметить: поскольку нет первичной гранитной магмы, не может быть и отдельных гранитных и гранитоидных комплексов и формаций. Все комплексы габбро-гранитные с некоторыми вариациями основности/щелочности ранних членов и кислотности/щелочности поздних. В соответствии с региональным и межрегиональным масштабом магмоконтролирующей тектоники магматические комплексы









Челябинский гранитоидный плутон

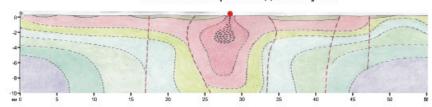
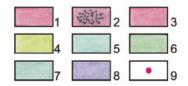
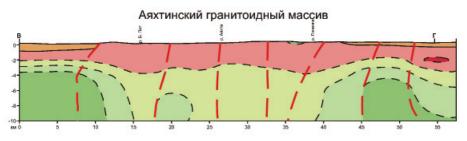


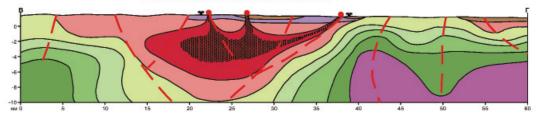
Рис. 10. Глубинное строение габбро-гранитоидных плутонов, по [21]

1 — лейкограниты; 2 — аномально низкоплотные лейкограниты; 3 — биотитовые граниты; 4 — гранодиориты; 5 — диориты; 6 — габбро; 7 — пикрогаббро; 8 — ултрабазиты; 9 — выходы апофиз лейкогранита из очага, совпадающие с оруденением

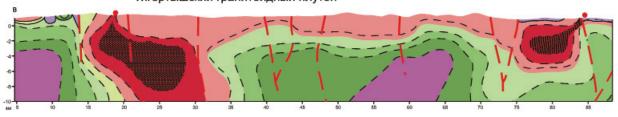




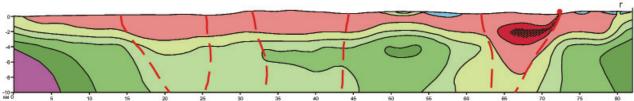
Джидинский гранитоидный плутон







Магаданский гранитоидный плутон



и тем более формации не могут быть мелкими, но только в виде протяженных по структуре поясов. Даже крупные плутоны не могут быть полигенными, полиформационными, а позиция «комплекс в комплексе» абсолютно невозможна. В случае наложения тектономагматической активизации на древние структуры молодые комплексы должны

иметь иную, собственную, явно секущую позицию также регионального развития.

Самостоятельных комплексов малых интрузий и даек быть не может, как нет и соизмеримых с ними тектонических структур. Они должны входить в состав региональных подразделений. Мелкие тела экзотического состава также не могут быть



автономными. Они представляют собой узколокальные фазы или фации ликвационного происхождения в составе ординарных габбро-гранитных комплексов и могут играть роль поискового критерия на редкометалльное и редкоземельное оруденение.

Отдельно следует оговорить вопрос о гипербазитовой магме. Судя по насыщенному крупными телами гипербазитов Тагильскому поясу, который протягивается по Уралу с севера на юг на тысячи километров, первичная ультраосновная магма может образоваться при полном плавлении субстрата мантии. Необходимые для этого РТ-условия в недрах Земли возникают, видимо, редко и в специфических сверхглубоких разломах. В подавляющем большинстве случаев мелкие изометричные и неправильной форм тела ультраосновного состава, ассоциирующие с габбро-гранитными плутонами, представляют собой самые ранние продукты кристаллизации базальтовой магмы и должны включаться в габбро-гранитные комплексы и формации как ранние их фазы и фации [20].

Строить новую генетическую классификацию магматических формаций необходимо сверху, руководствуясь петрологическими закономерностями магмогенерации и дифференциации, используя конкретные классические примеры, а отнюдь не снизу, от массы мелких, часто невалидных комплексов. Чисто формационных типов априори должно резко сократиться, поскольку исходных магм немного (базальтовая с вариациями по щелочности и основности, андезитовая и гипербазитовая) и трендов их эволюции также мало. Создавать новую классификацию магматических формаций можно только коллективно с обсуждением аргументации для каждого типа, критически отметая многочисленные частные конкретные ассоциации, претендующие на автономность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. **Барсуков В. Л., Рябчиков И. Д.** Об источниках рудного вещества // Геохимия. 1980. № 10. С. 1439–1449.
- 2. **Добрецов Н. Л., Попов Н. В.** О длительности формирования гранитоидных плутонов // Геология и геофизика. 1974. № 1. С. 50—60.
- 3. **Ермолов П. В., Изох Э. П., Тян В. Д.** Габброгранитные серии западной части Зайсанской складчатой системы. Новосибирск: Наука, 1977. 245 с.
- 4. Жуланова И. Л., Русакова Т. Б., Котляр И. Н. Геохронология и геохронометрия эндогенных событий в мезозойской истории Северо-Востока Азии. М.: Наука, 2007. 358 с.
- 5. **Зоненшайн Л. П.** Возраст и форма гранитоидных интрузий бассейна среднего течения р. Агул (Восточный Саян) // Материалы по региональной геологии. – М.: Госгеолтехиздат, 1956. – С. 96–97.
- 6. **Кузнецов Ю. А.** Главные типы магматических формаций. М.: Недра, 1064. 385 с.
- 7. **Кузнецов Ю. А**. О главных формах гранитоидного магматизма и механизме образования

- гранитовых тел // Геология и геофизика. 1966. № 6. С. 3—15.
- 8. **Магаданский** батолит: строение, состав и условия образования / Н. В. Андреева, А. П. Пономарева, Н. Н. Крук и др. Магадан: СВ КНИЦ ДВО РАН, 1999. 264 с.
- 9. **Магматизм** Северного Казахстана / А. Н. Нурлыбаев, В. И. Старов, Л. В. Булыго и др. Алма-Ата: Наука, 1988. 168 с.
- 10. **Магматические** формации СССР. Т. I / В. Л. Масайтис, В. Н. Москалева, Н. А. Румянцева и др. Л.: Недра, 1979. 318 с.
- 11. **Масуренков Ю. П.** Вулкан над интрузиями. М.: Наука, 1979. 219 с.
- 12. Моисеенко Ф. С. О морфологии гранитных массивов Новосибирского Приобья по геофизическим данным // Геология и геофизика. 1966. $N ext{0} ext{5}$. С. 130—137.
- 13. **Обновленные** схемы межрегиональной и региональной корреляции магматических и метаморфических комплексов Алтае-Саянской области и Енисейского кряжа / отв. ред. В. Л. Хомичев. Новосибирск: СНИИГГиМС, 2007. 280 с.
- 14. **О достоверности** радиологического датирования (протокол рабочего совещания) // Отечественная геология. 2007. № 2. С. 101–103.
- 15. **Осипова Т. А.** Петрология Джабыкского ареала орогенного гранитоидного магматизма: автореф. дис. ... к. г.-м. н. Екатеринбург, 1992. 25 с.
- 16. **Петрографический** кодекс. Магматические и метаморфические образования / под ред. Н. П. Михайлова. СПб.: ВСЕГЕИ, 1995. 128 с.
- 17. **Попов В. С.** Геология и генезис медно- и молибден-порфировых месторождений. М.: Наука, 1977. 203 с.
- 18. Садур О. Г. Моделирование геологических сред на основе вычисления их плотностных и магнитных характеристик в классе сложного распределения масс при решении различных геологических задач // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. 2012. № 1(9). С. 96—101.
- 19. **Схемы** межрегиональной корреляции магматических и метаморфических комплексов Алтае-Саянской области и Енисейского кряжа / отв. ред. В. Л. Хомичев. Новосибирск: СНИИГГиМС, 2002. 178 с.
- 20. **Хомичев В. Л.** Гипербазиты пикробазиты и хромитовое оруденение // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. 2019. № 3. С. 94–105.
- 21. **Хомичев В. Л.** Петрологическая основа гранитоидных рудно-магматических систем. Новосибирск: СНИИГГиМС, 2016. 286 с.
- 22. **Хомичев В. Л.** Петрологические противоречия и парадоксы // Петрография магматических и метаморфических горных пород: матер. XII Всерос. петрогр. совещ. Петрозаводск, 2015. С. 570–572.
- 23. Хомичев В. Л. Плутоны дайки оруденение. Новосибирск: СНИИГГиМС, 2010. 264 с.



- 24. **Хомичев В. Л.** Проблема валидности магматических комплексов. Новосибирск: СНИИГГиМС, 2002. 80 с.
- 25. **Шарапов В. Н.** К динамике интрудирования магм // Замещение и вторжение при магматизме и рудообразовании. Новосибирск: Наука, 1976. С. 103—122.
- 26. **Шарапов В. Н., Сотников В. И.** О возможной длительности рудообразования при формировании плутоногенных гидротермальных месторождений // Геология и геофизика. 1975. № 1. С. 20—25.
- 27. **Шахов Ф. Н.** Магма и руды // Геология и геофизика. 1966. № 10. С. 3—9.
- 28. **Шевченко Е. В.** Структурные и петрографические особенности пермских плутонов Центрального Казахстана. Львов: Изд-во ун-та, 1951. 263 с.
- 29. **Эрлих Э. Н. Мелекесцев И. В.** Четвертичный кислый вулканизм западной части Тихоокеанского кольца // Кислый вулканизм. Новосибирск: Наука, 1973. С. 4–39.

REFERENCES

- 1. Barsukov V.L., Ryabchikov I.D. [On sources of ore matter]. *Geokhimiya*, 1980, no. 1, pp. 1439–1449. (In Russ.).
- 2. Dobretsov N.L., Popov N.V. [On the duration of the formation of granitoid plutons]. *Geologiya i geofizika*, 1974, no.1, pp. 1439–1449. (In Russ.).
- 3. Ermolov P.V., Izokh E.P., Tyan V.D. *Gabbro-granitnyye serii zapadnoy chasti Zaisanskoy skladchatoy sistemy* [Gabbro-granite intrusive series of Western Zaisan Fold System]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1977. 245 p. (In Russ.).
- 4. Zhulanova I.L., Rusakova T.B., Kotlyar I.Kh. *Geokhronologiya i geokhronometriya endogennykh sobytiy v mezozoiskoy istorii Severo-Vostoka Azii* [Geochronology and geochronometry of endogenous events in the Mesozoic History of Northeast Asia). Moscow, Nauka Publ, 2007. 358 p. (In Russ.).
- 5. Zonenshtain L.P. [Age and shape of granitoid intrusions in the basin of the Agul River midstream (East Sayan)]. *Materialy po regionalnoy geologii* [Materials on Regional Geology]. Moscow, Gosgeoltekhizdat Publ., 1956, pp. 96–97. (In Russ.).
- 6. Kuznetsov Yu.A. *Glavnyye tipy magmaticheskikh formatsiy* [Main types of magmatic formations]. Moscow, Nedra Publ., 1964. 385 p. (In Russ.).
- 7. Kuznetsov Yu. A. [About the main forms of granitoid magmatism and mechanism of formation of granite bodies]. *Geologiya i geofizika*, 1966, no. 6, pp. 3–15. (In Russ.).
- 8. Andreeva N.V., Ponomareva A.P., Kruk N.N., et al. *Magadanskiy batolit: stroeniye, sostav i usloviya obrazovaniya* [Magadan batholiths: structure, composition and conditions of formation]. Magadan, NE ISRC FEB RAS Publ., 1999. 264 p. (In Russ.).
- 9. Nurlybaev A.N., Starov V.I., Bulygo L.V., et al. Magmatizm Severnogo Kazakhstana [Magmatism of

- Northern Kazhakhstan]. Alma-Ata, Nauka Publ., 1988. 168 p. (In Russ.).
- 10. Masaytis V.L., Moskaleva V.N., Rumyantseva N.A., et al. *Magmaticheskiye formatsii SSSR. T. 1*. [Magmatic formations of USSR. Vol. 1]. Leningrad, Nedra Publ., 1979. 318 p. (In Russ.).
- 11. Masurenkov Yu.P. *Vulkan nad intruziyami* [Volcano over intrusions]. Moscow, Nauka Publ., 1979. 219 p. (In Russ.).
- 12. Moiseenko F. S. [On the morphology of granite massifs of Novosibirsk Priobye according to geophysical data]. *Geologiya i geofizika*, 1966, no. 5, pp. 130–137. (In Russ.).
- 13. Khomichev V.L., ed. *Obnovlennyye skhemy mezhregionalnoy i regionalnoy korrelyatsii magmati-cheskikh i metamorficheskikh kompleksov Altae-Sayanskoy oblasti i Yeniseiskogo kryazha* [Updated schemes of interregional and regional correlation of magmatic and metamorphic complexes in the Altai-Sayan foldbelt and Yenisey Range]. Novosibirsk, SNIIGGiMS Publ., 2007, 280 p. (In Russ.).
- 14. Khomichev V.L. [On the reliability of radiological dating (minutes of the workshop)]. *Otechest-vennaya geologiya National Geology,* 2007, no. 2, pp.101–103. (In Russ.).
- 15. Osipova T.A. *Petrologiya Dzhabykskogo are-ala orogennogo granitoidnogo magmatizma. Avtoref. kand. dis.* [Petrology of the Dzhabyk areal of orogenic granitoid magmatism. Author's abstract of PhD thesis]. Yekaterinburg, 1992. 25 p. (In Russ.).
- 16. Mikhaylov N.P., ed. *Petrograficheskiy kodeks. Magmaticheskiye i metamorficheskiye obrazovaniya* [Petrographic Code. Magmatic and metamorphic formations]. Saint-Petersburg, VSEGEI Publ., 1995. 128 p. (In Russ.).
- 17. Popov V.S. *Geologiya i genesis medno- i molibden-porfirovykh mestorozhdeniy* [Geology and genesis of copper- and molybdenum-porphyritic deposits]. Moscow, Nauka Publ., 1977. 203 p. (In Russ.).
- 18. Sadour O.G. [Modelling of geological environments based on calculation of their density and magnetization in class of complex mass distribution for various geological problems]. *Geologiya i mineralnosyryevyye resursy Sibiri Geology and Mineral Resources of Siberia*, 2012, no. 1 (9), pp. 96–101. (In Russ.).
- 19. Khomichev V.L., ed. Skhemy mezhregionalnoy korrelyatsii magmaticheskikh i metamorficheskikh kompleksov Altai-Sayanskoy oblasti i Yeniseyskogo kryazha [Schemes of interregional correlation of magmatic and metamorphic complexes of the Altai-Sayan region and the Yenisey Ridge]. Novosibirsk, SNIIGGiMS, 2002. 178 p. (In Russ.).
- 20. Khomichev V.L. [Hyperbasites–picrobasites and chromite mineralization]. *Geologiya i mineralnosyryevyye resursy Sibiri Geology and Mineral Resources of Siberia*, 2019, no. 3, pp. 94–105. (In Russ.).
- 21. Khomichev V.L. *Petrologicheskaya osnova* granitoidnykh rudno-magmaticheskikh system [Petrological foundation for granitoid ore-magmatic sys-



- tem]. Novosibirsk, SNIIGGiMS Publ., 2016. 286 p. (In Russ.).
- 22. Khomichev V.L. [Petrological contradictions and paradoxes]. *Petrografiya magmaticheskikh i metamorficheskikh gornykh porod: materialy XII Vseros. petrogr. soveshch.* [Petrography of magmatic and metamorphic rocks: Materials of 12th All-Russian Petrographic Conference]. Petrozavodsk, 2015, pp. 570–572. (In Russ.).
- 23. Khomichev V.L. *Plutony dayki orudeneniye* [Plutons dikes mineralization]. Novosibirsk, SNIIG-GiMS Publ., 2010. 264 p. (In Russ.).
- 24. Khomichev V.L. *Problema validnosti mag-maticheskikh kompleksov* [Validity problems of magmatic complexes]. Novosibirsk, SNIIGGiMS Publ., 2010. 80 p. (In Russ.).
- 25. Sharapov V.N. [On the dynamics of magma intrusion]. Zameshcheniye i vtorzheniye pri magma-

- tizme i rudoobrazovanii [Substitution and invasion in magmatism and ore formation]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1976, pp. 103–122. (In Russ.).
- 26. Sharapov V.N., Sotnikov V.I. [On the possible duration of oregenesis during the formation of plutonogenic hydrothermal deposits]. *Geologiya i geofizika*, 1975, no. 1, pp. 20–25. (In Russ.).
- 27. Shakhov F. M. [Magmas and ores]. *Geologiya i geofizika*, 1966, no. 10, pp. 3–9. (In Russ.).
- 28. Shevchenko E.V. Strukturnyye i petrografiches-kiye osobennosti permskikh plutonov Tsentralnogo Kazakhstana [Structural and petrographic features of Permian plutons of the Central Kazakhstan]. Lvov, University Publ., 1951. 263 p. (In Russ.).
- 29. Erlikh E.N., Melekestsev I.V. [Quaternary acid volcanism of the western part of the Pacific Ring]. *Kislyy vulkanizm* [Acid volcanism]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1973, pp. 4–39. (In Russ.).

© В. Л. Хомичев, Н. Е. Егорова, 2021



УДК 551.89+569.32+911.52

РЕКОНСТРУКЦИЯ ЛАНДШАФТОВ ПРЕДАЛТАЙСКОЙ РАВНИНЫ В ПОЗДНЕМ НЕОПЛЕЙСТОЦЕНЕ ПО ДАННЫМ ФАУНЫ МЕЛКИХ МЛЕКОПИТАЮЩИХ

Д. Г. Маликов 1 , С. Е. Голованов 1,2

¹Институт геологии и минералогии им. В. С. Соболева СО РАН, Новосибирск, Россия; ²Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия.

На основе изучения фауны мелких млекопитающих Предалтайской равнины проведены реконструкции особенностей ландшафтов в конце среднего — позднем неоплейстоцене. Фаунистические данные указывают на широкое развитие ландшафтов степного типа на Предалтайской равнине в интервале от MIS 6 до начала MIS 2. Как в теплое, так и в холодное время среди мелких млекопитающих в регионе преобладали суслики, реже встречались барабинские хомячки, тушканчики, цокоры, степные мышовки, узкочерепные полевки и пеструшки. Все эти виды являются типичными обитателями открытых биоценозов степного либо тундростепного типа. Реконструкции по материалам микротериофауны хорошо согласуются с изучением ископаемых почв Предалтайской равнины. Ископаемые почвы показывают развитие степных и лесостепных ландшафтов в периоды потепления. В холодные этапы в регионе накапливались лессовые отложения, которые можно рассматривать как индикаторы криоаридных степей.

Ключевые слова: мелкие млекопитающие, палеоландшафтные реконструкции, поздний неоплейстоцен, Предалтайская равнина, юг Западной Сибири.

RECONSTRUCTION OF LANDSCAPES OF THE PRE-ALTAI PLAIN IN THE LATE NEOPLEISTOCENE BASED ON DATA OF SMALL MAMMAL FAUNA

D. G. Malikov¹, S. E. Golovanov^{1,2}

1V.S.Sobolev Institute of Geology and Mineralogy SB RAS, Novosibirsk, Russia; 2 Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia

Reconstructions of landscape features at the end of the Middle and Late Neopleistocene were carried out based on the study of the small mammal's fauna. Faunal data indicate a wide development of steppe-type landscapes on the Pre-Altai Plain in the interval from MIS 6 to the beginning of MIS 2. Both in warm and cold seasons, gophers predominated among small mammals in the region; striped hamsters, jerboas, zokors, southern birch mouses, narrow-headed voles and lemmings were less common. All these species are typical inhabitants of open biocenoses of the steppe or tundra-steppe type. Reconstructions based on microteriofauna materials are in good agreement with the study of fossil soils of the Pre-Altai Plain. Fossil soils show the development of steppe and forest-steppe landscapes during periods of warming. During the cold stages, loess deposits accumulated in the region, which can be considered as indicators of cryoarid steppes.

Keywords: small mammals, paleolandscape reconstructions, Late Neopleistocene, Pre-Altai Plain, south of Western Siberia.

DOI 10.20403/2078-0575-2021-1-18-24

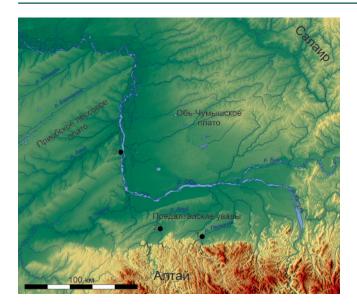
Палеогеографические реконструкции — финал любых геологических исследований. Наиболее обоснованными и достоверными по праву следует считать реконструкции палеоландшафтов плейстоцена как наиболее близкой к современности эпохи, соответственно, наиболее применим и эффективен становится метод актуализма. На основе совокупности различных геологических данных были проведены палеогеографические реконструкции для позднего плейстоцена северного полушария [7, 13], в основе которых лежали преимущественно палинологические и геологические материалы по территории Европы, тогда как обширные площади Западной Сибири в этих работах были освещены недостаточно.

Наиболее актуальные и детальные реконструкции палеоландшафтных зон для плейстоцена в Западной Сибири были проведены В. С. Зыкиной и В. С. Зыкиным [9] на основании данных палеопедологии. Однако палеопедологические материалы

позволяют реконструировать ландшафтно-климатические обстановки только в периоды педогенеза, т. е. в стадии потепления, тогда как для холодных интервалов необходимо привлечение палеонтологических данных. Фауна мелких млекопитающих позволяет проводить не менее детальные реконструкции ландшафтов благодаря строгой приуроченности к определенным их типам. На основе териологических данных были выполнены высокодетальные реконструкции экосистем Европы при переходе от плейстоцена к голоцену [17].

В предлагаемой статье были реконструированы ландшафты позднего плейстоцена Предалтайской равнины на основе накопленной информации по мелким млекопитающим. Предалтайская равнина расположена между горными сооружениями Алтая на юге и Салаира на востоке, северо-востоке и севере и является юго-восточной окраиной Западно-Сибирской равнины (рис. 1). Предалтайская равнина представляет собой возвышенное расчленен-





ное плато, на западе переходящее в Кулундинскую низменность [1].

Ключевые элементы Предалтайской равнины — Предалтайские увалы и Приобское лессовое плато, которые являются важными элементами с точки зрения как рельефа, так и записи лессово-почвенных отложений, важных для ландшафтно-климатических реконструкций [6]. Нами были реконструированы ландшафты позднего неоплейстоцена Предалтайской равнины на основе данных по мелким млекопитающим.

Материал и методы исследования

Фактические материалы собраны в норах грызунов в раскопах, сделанных в 2017–2019 гг. сотрудниками ИГМ СО РАН. Материал представлен фрагментами скелетов 18 особей различных видов животных, погибших в своих норах. Новые фаунистические материалы получены из нор, связанных с почвенными горизонтами и лессовыми прослоями из трех геологических разрезов (см. рис. 1) — Белово, Солоновка и Петропавловское. Возраст остатков определен на основании соотнесения заполнителя норы с выделенными в разрезе литологическими горизонтами.

Основой палеогеографических реконструкций является метод актуализма. Среди млекопитающих для реконструкции палеоландшафтных условий лучше всего подходят стенобионтные виды [17]. Определение ископаемых остатков проведено на основе сравнительных коллекций и определителей млекопитающих [3, 4]. В работе принята унифицированная региональная стратиграфическая схема четвертичных отложений Западно-Сибирской равнины [16], лессово-почвенная стратиграфия — по схеме, предложенной В. С. Зыкиным [6].

Полученные результаты

Были изучены остатки микротериофауны из субаэральных отложений трех геологических разрезов.

Рис. 1. Местоположение исследованных разрезов Предалтайской равнины

1 – Солоновка; 2 – Петропавловское; 3 – Белово

Разрез Солоновка связан с отложениями юго-восточного склона Ануйского увала, вскрыт в береговом обрыве левого склона долины р. Песчаная, в 1,5 км ниже пос. Солоновка (52°01′ с.ш., 84°39′ в.д.). Геологическое строение, условия формирования разреза и данные о фауне среднего плейстоцена опубликованы [10].

Разрез Петропавловское представлен породами юго-восточного склона Колыванского увала в береговом обрыве левого склона долины р. Ануй, на северо-восточной окраине пос. Петропавловское (52°05′ с.ш., 84°08′ в.д.). Геологическое строение и условия формирования разреза были описаны В. С. Зыкиной с соавторами [12].

Разрез Белово — широко известный разрез четвертичных отложений в долине р. Обь [6, 8, 15 и др.], между селами Белово и Володарка (52°39′ с.ш., 83°38′ в.д.) на участке Приобского лессового плато, вскрытого левым берегом р. Обь.

Геологическое строение субаэральной части всех разрезов однотипное, характерно для всей юго-восточной части Западно-Сибирской равнины. В верхних частях разрезов вскрывается лессово-почвенная последовательность, представленная баганским и ельцовским лессами (MIS 2), искитимским педокомплексом (MIS 3), тулинским лессом (MIS 4), бердским педокомлексом (MIS 5) и сузунским лессом (MIS 6). Указанные лессово-почвенные горизонты характеризуют отложения завершающей стадии среднего и весь верхний неоплейстоцен (рис. 2).

Строение и условия образования лессово-почвеной последовательности в исследованных разрезах подробно описаны [6, 10, 12].

Баганский лесс представлен уплотненным пористым лессовидным суглинком, с многочисленными корнеходами и карбонатами в виде псевдомицелия, пропитки и гипсовыми конкрециями, встречаются норы землероев.

Ельцовский лесс – уплотненный пористый лессовидный опесчаненный суглинок, с корнеходами, псевдомицелием, белоглазкой и гипсовыми конкрециями, встречаются многочисленные норы землероев.

Искитимский педокомплекс представлен двумя слаборазвитыми почвами каштанового или черноземного типа, разделенными суглинком небольшой мощности. Обе почвы имеют слабо дифференцированные профили незначительной мощности, нечетко выраженные по цвету гумусовые горизонты, разбитые мерзлотными клиньями. Характерны карбонатные новообразования в виде белоглазки, гипсовые конкреции и норы землероев. Ископаемые почвы формировались в условиях сухой степи в более прохладном и аридном климате, чем современные, по типу слаборазвитых каштановых и черноземных почв.



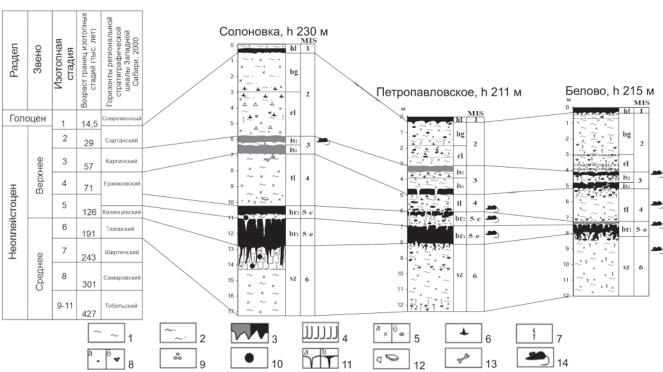


Рис. 2. Корреляция субаэральных разрезов Предалтайской равнины

1 — суглинок; 2 — суглинок опесчаненный; 3 — гумусовый горизонт; 4 — иллювиальный горизонт; 5 — карбонаты (а) и карбонатные конкреции (б); 6 — гипс; 7 — новообразования Fe; 8 — Мп-крап (а), Fe-Мп-конкреции (б); 9 — оглеение; 10 — норы землероев; 11 — трещины усыхания (а), гумусированные затеки (б); 12 — мелкий щебень и пластинки сланцев; остатки млекопитающих: 13 — крупных, 14 — мелких

В Тулинском лессе преобладает однородный неслоистый коричневато-желтый типичный лесс, местами переходящий в легкий лессовидный суглинок, слабо пористый, плотный, с корнеходами, окрашенными в черный цвет, с округлыми карбонатными конкрециями в основании. Встречается много нор землероев.

Бердский педокомплекс состоит из двух черноземов. Верхняя почва, представленная слаборазвитым черноземом, значительно отличается от нижней профилем и гумусовым горизонтом небольшой мощности, меньшим по продолжительности временем формирования. Нижняя бердская почва сформировалась в условиях лесостепной зоны. Она имеет хорошо развитый полигенетичный профиль, дифференцированный на мощный гумусовый и карбонатно-иллювиальный горизонты; отмечены норы землероев. По строению профиля это «мощный» чернозем обыкновенный, сформировавшийся по лугово-черноземной почве и развивавшийся длительное время при более теплом и достаточно влажном климате в казанцевское межледниковье.

В Сузунском лессе преобладает легкий и средний суглинок, желтовато-коричневый, светлый, слабопористый, неслоистый. Встречаются скопления карбонатов в виде псевдомицелия, белоглазки и полых корнеходов, стенки которых инкрустированы карбонатами, встречаются норы грызунов.

Среди палеонтологического материала наиболее массово представлены остатки длиннохвостого суслика *Spermophilus undulatus* Pallas, 1778. Остатки

этого вида отмечены во всех исследованных разрезах и в отложениях с тазовского (MIS 6) по каргинское (MIS 3) время. Остальные виды грызунов встречаются единично (рис. 3).

В отложениях искитимского педокомплекса (MIS 3) обнаружены остатки суслика S. undulatus, которые встречены в местонахождениях Солоновка и Белово. Ранее из нор искитимской почвы разреза Белово были получены остатки Citellus sp., Lagurus lagurus Pallas, 1773, Microtus gregalis Pallas, 1779 и Myospalax cf. myospalax Laxmann, 1773 [6]. Помимо остатков грызунов, в мерзлотном клине криотурбированой нижней искитимской (MIS 3) почвы обнаружены остатки корсака Vulpes corsac L., 1768. В отложениях тулинского лесса (MIS 4) встречены остатки S. undulatus (Петропавловское, Белово) и Cricetulus barabensis Pallas, 1773 (Белово). В почвах бердского педокомплекса (MIS 5) определены S. undulatus (Петропавловское, Белово), M. gregalis (Петропавловское MIS 5c), Sicista subtilis Pallas, 1773 (Петропавловское) и *L. lagurus* (Петропавловское). Также из нор нижней бердской почвы известны остатки Citellus sp., L. lagurus и Allactaga sp. [6]. Из отложений сузунского лесса (MIS 6) получены остатки S. undulatus (Белово).

Обсуждение резулсьтатов

Полученные палеонтологические материалы позволяют уточнить ранее имевшиеся палеоландшафтные реконструкции Предалтайской равнины. Для современных мелких млекопитающих экологические предпочтения хорошо изучены [4], и на



No 1(45) ♦ 202

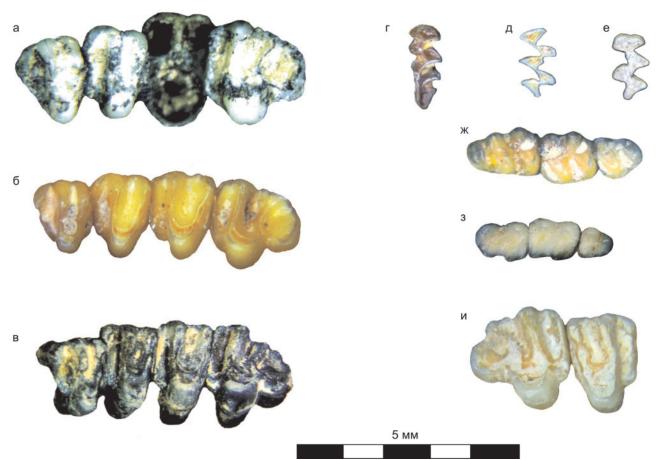


Рис. 3. Остатки мелких млекопитающих

Зубные ряды верхней челюсти *Spermophilus undulatus*: а — Солоновка (MIS 3), б — Белово (MIS 4), в — Петропавловское (MIS 5e), и — Белово (MIS 6); г — зуб M3 *Microtus gregalis*, Петропавловское (MIS 5c); д, е — зубы M1 и M2 *Lagurus lagurus*, Петропавловское (MIS 5e); ж — зубной ряд нижней челюсти *Cricetulus barabensis*, Белово (MIS 4); з — зубной ряд нижней челюсти *Sicista subtilis*, Петропавловское (MIS 5e)

основе этих данных регулярно производятся палеоландшафтные реконструкции [17]. Все мелкие млекопитающие Предалтайской равнины, исследованные нами, — обитатели открытых ландшафтов полупустынного, степного и лесостепного типов (см. таблицу). Еще одним типичным представителем степных и полупустынных ландшафтов является корсак, обитающий в настоящее время в Азии и на юге Западной Сибири по левому берегу р. Обь [9]; его остатки обнаружены в нижней искитимской (MIS 3) почве разреза Белово.

Согласно реконструкциям почв искитимского и бердского педокомплексов [6, 10, 12] в теплые интервалы позднего неоплейстоцена на юго-востоке Западной Сибири были широко развиты ландшафты степного и лесостепного типов. Это хорошо согласуется с полученными палеофаунистическими данными (рис. 4).

В холодные эпохи плейстоцена вместо формирования почв происходило лессонакопление. В ландшафтно-климатическом отношении лессовые отложения следует рассматривать как тундростепные ландшафты либо криоаридные степи, формирующиеся в крайне засушливых и холодных условиях при преобладании атмосферного осадконакопле-

ния [11, 13]. Остатки суслика и хомячка, обнаруженные в норах из сузунского и тулинского лессов, хорошо согласуются с представлениями о лессе как об отложениях, накапливавшихся в условиях сухой травянистой степи.

Ранее для региона различные авторы уже приводили многочисленные данные по микротериофауне рассматриваемого отрезка времени. В основном эти материалы происходили из аллювиальных тафоценозов, что не исключало возможности их переотложения. Однако в целом данные, полученные другими исследователями, согласуются с нашими.

Грызуны из отложений бобковской свиты (конец среднего неоплейстоцена) в долине р. Алей характеризуют преимущественно полынные степи и полупустыни: Desmana sp., Spermophilus erythrogenys Brandt, 1841, Arvicola sp., L. lagurus, Eolagurus luteus Eversmann, 1840, Ellobius sp., M. gregalis, Myospalax ex gr. myospalax, Pygerethmus zhitkovi Kuznetsov, 1930 [1]. Грызуны из отложений V надпойменной террасы р. Обь на Предалтайской равнине также характеризуют открытые пространства типа сухих степей и полупустынь (E. luteus, L. lagurus, M. gregalis и Allactaga sp.) [5].



Ландшафтная приуроченность млекопитающих (по [17] с изменениями)

			Э	кологиче	ские груп	пы млек	опитающ	их		
Таксоны	Арктическая пустыня	Тундра, лесотундра	Тайга	Лесостепь	Степь	Полупустыня	Пустыня	Горные леса	Альпийские луга	Горная степь
Vulpes corsac — лисица-корсак					+	+				+
Lagurus lagurus — степная пеструшка				+	+	+				
Microtus gregalis — узкочерепная полевка		+		+	+					
Spermophilus (все виды) — суслики				+	+	+				
Cricetulus barabensis – барабинский хомячок				+	+	+				
Sicista subtilis — степная мышовка				+	+	+				
Myospalax – цокор					+					

В аллювиальных отложениях верхнего неоплейстоцена также преобладают виды открытых ландшафтов. Остатки *Citellus* sp. и *Cricetus* sp. известны из отложений III надпойменной террасы в районе слияния рек Бия и Катунь и датируются ермаковским (MIS 4) временем [2]. Фауна из отложений I и II террас правых притоков р. Обь (рр. Тальменка, Чумыш, Повалиха) тоже характеризует открытые аридные ландшафты [5]: *Lepus* sp., *Ochotona* sp., *Citellus* sp., *Allactaga major* Kerr, 1792, *E. luteus*, *L. lagurus*, *Arvicola terrestris* L., 1758, *Microtus oeconomus* Pallas, 1776, *M. gregalis* и *Myospalax myospalax*. Возраст отложений 25-метровой террасы р. Чумыш

(у с. Шадринцево) определяется позднекаргинским временем на основании ¹⁴С датировок по древесине [14]: от 26700±210 (СОАН-434) до 23750±180 (СОАН-435). В аллювии ІІ надпойменной террасы р. Иша (у с. Новосуртайка) обнаружены остатки *Crocidura* sp., *Ochotona* sp., *S. undulatus, Cletrionomys* sp., *L. lagurus, M. oeconomus, M. gregalis* [1], возраст фауны может быть определен на основании ¹⁴С датировок по древесине из этого разреза [14]: от 39600±1200 (СОАН-748) до 39900±3100 (СОАН-53).

Судя по нашим данным и материалам, опубликованным предыдущими исследователями, в конце среднего и позднем неоплейстоцене на Предалтай-

Раздел	Звено, возраст, т.л.н.	Изотопная стадия	Западная Сибирь (пк - педокомплекс)	Лессово- почвенный разрез Белово	Типы почв	Ландшафтно- климатическая зона	Микротериофауна
Голоцен	11.7	1	Современный пк (hl)		Ч.0	Степь	
		2	Баганский лесс (bg) Суминская почва (sm) Ельцовский лесс (el)			Криоаридная степь	
Ŧ	Φ	3	Искитимский пк (is)		ч.сл.р.	Степь	Spermophilus undulatus, Lagurus lagurus, Microtus gregalis, Myospalax cf. myospalax,
Чеоплейстоцен	Верхнее	4 5a	Тулинский лесс (tl)			Лесостепь Криоаридная степь	Vulpes corsac Spermophilus undulatus, Cricetulus barabensis
Неопл		5c 5d	Бердский пк (br.)		ч.сл.р.	Степь	Microtus gregalis
	126	5e			ч.в., о.	Лесостепь-степь	Spermophilus undulatus, Lagurus lagurus, Microtus gregalis, Sicista subtilis, Allactaga sp.
	Среднее 191	6	Сузунский лесс (sz)			Криоаридная степь	Spermophilus undulatus

Рис. 4. Реконструкция ландшафтов Предалтайской равнины конца среднего и позднего неоплейстоцена по лессовопочвенной последовательности и фаунистическим данным (ч.о. – черноземы обыкновенные, ч.сл.р. – черноземы слаборазвитые, ч.в., о. – черноземы выщелоченные и обыкновенные)



ской равнине обитал единый комплекс мелких млекопитающих. Основу его составляли виды открытых биотопов, представленные преимущественно сусликами, пеструшками, узкочерепными полевками, цокорами и тушканчиками.

Таким образом, мы считаем, что в конце среднего и позднем плейстоцене на изучаемой территории были широко развиты открытые ландшафты. В теплые интервалы развивались степные, реже лесостепные ландшафты, в холодные — криоаридные степи.

Выводы

мелких млекопитающих теплых (МИС 5е, с и 3) и холодных (МИС 6 и 4) интервалов конца среднего и позднего неоплейстоцена Предалтайской равнины оказались идентичными в видовом и экологическом отношении. Для всех слоев изученных разрезов характерно преобладание остатков сусликов, единично встречаются остатки хомячка, тушканчика, цокора, мышовки, узкочерепной полевки и пеструшки. Все эти виды являются типичными обитателями открытых биоценозов степного либо тундростепного типов. Таким образом, фаунистические данные указывают на широкое развитие ландшафтов степного типа на Предалтайской равнине в интервале от MIS 6 до начала MIS 2 как в теплое, так и в холодное время.

Эти данные хорошо согласуются с изучением ископаемых почв Предалтайской равнины, которые показывают развитие степных и лесостепных ландшафтов в периоды потепления. В холодные этапы в регионе накапливались лессовые отложения, которые можно рассматривать как индикаторы криоаридных степей.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ № 19-05-00513 и государственного задания ИГМ СО РАН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. **Адаменко О. М.** Мезозой и кайнозой степного Алтая. Новосибирск: Наука, 1974. 167 с.
- 2. **Адаменко О. М.** Стратиграфия четвертичных отложений Предалтайской равнины в районе слияния рек Бия и Катунь // Труды комиссии по изучению четвертичного периода. 1963. Т. XXII. С. 150—164.
- 3. **Бородин А. В.** Определитель зубов полевок Урала и Западной Сибири (поздний плейстоцен современность). Екатеринбург: УрО РАН, 2009. 100 с.
- 4. **Громов И. М., Ербаева М. А.** Млекопитающие фауны России и сопредельных территорий. Зайцеобразные и грызуны. СПб., 1995. 522 с.
- 5. **Зажигин В. С.** Грызуны позднего плиоцена и антропогена юга Западной Сибири. М.: Наука, 1980. 156 с. (Тр. ГИН; вып. 339).
- 6. Зыкина В. С., Зыкин В. С. Лессово-почвенная последовательность и эволюция природной среды

- и климата Западной Сибири в плейстоцене. Новосибирск: Акад. изд-во «Гео», 2012. — 477 с.
- 7. **Климаты** и ландшафты Северной Евразии в условиях глобального потепления. Ретроспективный анализ и сценарии. Атлас-монография «Развитие ландшафтов и климата Северной Евразии. Поздний плейстоцен голоцен элементы прогноза». Вып. III / под ред. А. А. Величко. М.: ГЕОС, 2010. 220 с.
- 8. **Комплексное** изучение горизонтов лессов верхнего плейстоцена разреза Белово / А. О. Сизикова, В. С. Зыкина, И. Ю. Овчинников, В. С. Панов // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. 2015. № 4. С. 17—30.
- 9. **Млекопитающие** Советского Союза. Т. 2. Ч. 1. Морские коровы и хищные: монография / В. Г. Гептнер, Н. П. Наумов, П. Б. Юргенсон и др. М.: Высшая школа, 1967. 1014 с.
- 10. **Новые** данные по стратиграфии четвертичных отложений предгорий Горного Алтая (долина р. Песчаная) / В. С. Зыкин, В. С. Зыкина, Л. Г. Смолянинова и др. // Археология, этнография и антропология Евразии. 2017. № 3. С. 3–16.
- 11. **Обручев В. А.** Лесс как особый вид почв, его генезис и задачи его изучения // Бюллетень комиссии по изучению четвертичного периода. 1948. № 12. С. 5—17.
- 12. **Особенности** строения верхнеплейстоценовой лессово-почвенной последовательности Колыванского увала Предалтайской равнины / В. С. Зыкина, А. О. Вольвах, В. С. Зыкин, Н. Е. Вольвах // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. 2018. № 3. С. 54—64.
- 13. Палеоклиматы и палеоландшафты внетропического пространства Северного полушария. Поздний плейстоцен голоцен. Атлас-монография / под ред. А. А. Величко. М.: ГЕОС, 2009. 120 с.
- 14. **Панычев В. А.** Радиоуглеродная хронология аллювиальных отложений Предалтайской равнины. Новосибирск: Наука, 1979. 102 с.
- 15. **Разрез** новейших отложений Алтая (стратиграфия и палеогеография Приобского плато, Предалтайской равнины и Горного Алтая) / под ред. К. К. Маркова. М.: МГУ, 1978. 208 с.
- 16. **Унифицированная** стратиграфическая схема четвертичных отложений Западно-Сибирской равнины. Новосибирск: СНИИГиМС, 2000. 64 с.
- 17. **Эволюция** экосистем Европы при переходе от плейстоцена к голоцену (24–8 тыс. л. н.) / А. К. Маркова, Т. ван Кольфсхотен, Ш. Бохнкке и др. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2008. 556 с.

REFERENCES

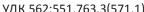
- 1. Adamenko O.M. *Mezozoy i kainozoy stepnogo Altaya* [Mesozoic and Cenozoic of the steppe Altai]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1974. 167 p. (In Russ.).
- 2. Adamenko O.M. [Stratigraphy of Quaternary deposits of the Pre-Altai Plain in the district of the



- Biya R. and Katun R. confluence]. *Trudy komissii po izucheniyu chetvertichnogo perioda* [Proc. of Commission on the Quaternary study], 1963, vol. 22, pp. 150–164. (In Russ.).
- 3. Borodin A.V. Opredelitel zubov polevok Urala i Zapadnoy Sibiri (pozdniy Pleistocene sovremennost) [Determinant of teeth of voles in the Ural and Western Siberia (Late Pleistocene the present)]. Yekaterinburg, UrO RAS Publ., 2009. 100 p. (In Russ.).
- 4. Gromov I.M., Erbaeva M.A. *Mlekopitayushchiye* fauny Rossii i sopredelnykh territoriy. Zaitseobraznyye i gryzuny [Mammals of the fauna of Russia and adjacent territories: lagomorphs and rodents]. Saint Petersburg, 1995. 522 p. (In Russ.).
- 5. Zazhigin V.S. *Gryzuny pozdnego pliotsena i ant-ropogena yuga Zapadnoy Sibiri* [Late Pliocene and Anthropogene rodents of the south of Western Siberia]. Moscow, Nauka Publ., 1980. 156 p. (In Russ.).
- 6. Zykina V.S., Zykin V.S. *Lessovo-pochvennaya posledovatelnost i evolyutsiya prirodnoy sredy i klimata Zapadnoy Sibiri v pleistotsene* [Loess-soil sequence and evolution of the natural environment and climate of Western Siberia in the Pleistocene]. Novosibirsk, Geo Publ., 2012. 477 p. (In Russ.).
- 7. Velichko A.A., ed. [Climates and landscapes of Northern Eurasia under conditions of global warming. Retrospective analysis and scenarios]. Razvitiye landshaftov i klimata Severnoy Evrazii. Pozdniy pleystotsengolotsen elementy prognoza [Evolution of landscapes and climates of Northern Eurasia. Late Pleistocene Holocene elements of prognosis]. Moscow, GEOS Publ., 2010, iss. 2. 220 p. (In Russ.).
- 8. Sizikova A.O., Zykina V.S., Ovchinnikov I.Yu., Panov V.S. [An integrated study of the Late Pleistocene loess horizons, the Belovo stratotype section]. *Geologiya i mineralno-syryevyye resursy Sibiri Geology and mineral resources of Siberia*, 2015, no. 4, pp. 17–30. (In Russ.).
- 9. Geptner V.G., Naumov N.P., Yurgenson P.B., et al. *Mlekopitayushchiye Sovetskogo Soyuza* [Mammals of the Soviet Union. Steller's sea cow and carnivore]. Moscow, Vyschaya shkola Publ., 1967, vol. 2, part 1. 1014 p. (In Russ.).

- 10. Zykin V.S., Zykina V.S., Smolyaninova L.G., et al. [New stratigraphic data on the Quaternary sediments in the Peschanaya River valley, Northwestern Altai]. Arkheologiya, etnografiya i antropologiya Evrazii Archaeology, ethnology and anthropology of Eurasia, 2017, no. 3, pp. 3–16. (In Russ.).
- 11. Obruchev V.A. [Loess as a special kind of soil, its genesis and problems of its study]. *Byulleten komissii po izucheniyu chetvertichnogo perioda*, 1948, no. 12, pp. 5–17. (In Russ.).
- 12. Zykina V.S., Volvakh A.O., Zykin V.S., Volvakh N.E. [Structural features of the Upper Pleistocene loess-soil sequence of the Kolyvan knap in the Pre-Altai Plain]. *Geologiya i mineralno-syryevyye resursy Sibiri Geology and Mineral Resources of Siberia*, 2018, no. 3, pp. 54–64. (In Russ.).
- 13. Velichko A.A., ed. *Paleoklimaty i paleoland-shafty vnetropicheskogo prostranstva Severnogo polu-shariya. Pozdniy pleystotsen golotsen* [Paleoclimates and paleolandscapes of the extratropical regions of the Northern hemisphere: Late Pleistocene and Holocene]. Moscow, GEOS Publ., 2009. 120 p. (In Russ.).
- 14. Panychev V.A. *Radiouglerodnaya khronologiya allyuvialnykh otlozheniy Predaltaiskoy ravniny* [Radiocarbon Chronology of alluvial deposits of the Pre-Altai Plain]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1979. 102 p. (In Russ.).
- 15. Markova K.K., ed. *Razrez noveyshikh otlozheniy Altaya (stratigrafiya i paleogeografiya Priobskogo Plato, Predaltay and Gornyy Altai)* [Section of the most recent deposits of Altai (stratigraphy and paleogeography of the Near-Ob Plateau, Pre-Altain Plain and Gorny Altai)]. Moscow, University Press, 1978. 208 p. (In Russ.).
- 16. Unifitsirovannaya stratigraficheskaya schema chetvertichnykh otlozheniy Zapadno-Sibirskoy ravniny [Unified stratigraphic scheme of Quaternary deposits of the West Siberian Plain]. Novosibirsk, SNIIGGiMS Publ., 2000. 64 p. (In Russ.).
- 17. Markova A.K. Kolfkhoten van T., Bokhnkke Sh., et al. *Evolyutsiya ekosistem Evropy pri perekhode ot pleystocena k golotsenu (24–8 tys. l. n.)* [Evolution of European ecosystems during Pleistocene–Holocene transition (24–8 KYR BP)]. Moscow, KMK Scientific Press Publ., 2008. 540 p. (in Russ.).

© Д. Г. Маликов, С. Е. Голованов, 2021



УДК 562:551.763.3(571.1)

ПОГРАНИЧНЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ ТУРОНА - КОНЬЯКА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ (ПО ДАННЫМ ИЗУЧЕНИЯ ФОРАМИНИФЕР)

В. М. Подобина, Г. М. Татьянин

Национальный иследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия

Приведены новые материалы по микрофауне и литологии кузнецовской и седельниковской свит одноименных горизонтов. Эти данные позволили уточнить возраст пограничных турон-коньякских отложений среднего и верхнего отделов меловой системы. На основании сопоставления со стратонами окраинных районов, где известны находки секреционно-известковых раковин фораминифер, установлен коньякский возраст седельниковской свиты. Определен временной интервал регионального перерыва между туронским и коньякским ярусами, по-видимому, соответствующий раннему коньяку. В исследуемых разрезах северного района отсутствует комплекс фораминифер, известный в разрезах Камышловских скважин Омской впадины и местами в Зауралье.

Ключевые слова: фораминиферы, турон, коньяк, граница, перерыв, Западная Сибирь.

BOUNDARY DEPOSITS OF THE TURONIAN-CONIACIAN OF WESTERN SIBERIA (ACCORDING TO THE FORAMINIFERA STUDY DATA)

V. M. Podobina, G. M. Tatyanin

National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia

New materials on the microfauna and lithology of the Kuznetsovskaya and Sedelnikovskaya Formations of the same horizons are presented. These data have allowed us to clarify the age of the boundary Turonian-Coniacian deposits of the Middle and Upper series of the Cretaceous system. Based on a comparison with geological units of marginal regions, where finds of secretion-calcareous foraminiferal shells are known, the Coniacian age of the Sedelnikovskaya Formation was established. The time interval of the regional break between the Turonian and Coniacian stages was determined, apparently, corresponding to the Early Coniacian. The studied sections of the northern region are characterized by the absence of foraminiferal assemblage known in the sections of Kamyshlovskiye wells of the Omsk depression and in some places of the Trans-Urals.

Keywords: foraminifera, Turonian, Coniacian, boundary, break, Western Siberia.

DOI 10.20403/2078-0575-2021-1-25-31

Исследован новый фактический материал по фораминиферам из разрезов скважин на территории северного палеобиогеографического района Западно-Сибирской провинции. Эти сведения с учетом литологии вмещающих пород дали возможность уточнить границу между туроном (средний мел) и коньяком (верхний мел), подтвердить перерыв в осадконакоплении между этими стратонами в северном районе и во всей провинции [7, 8]. В указанных работах отмечены изменения в литологии и систематическом составе фораминифер на границе турона и коньяка. Это различие, по мнению авторов, определяется геологическими событиями, и прежде всего проявлением тектонических движений.

Новый фактический материал дал дополнительную возможность не только уточнить границу между туронским и коньякским ярусами, но и в целом между средним (апт - турон) и верхним (коньяк – маастрихт) отделами меловой системы [8].

Изучаемая часть разреза - это пограничные отложения между верхними слоями кузнецовской свиты и нижними – седельниковской (верхних слоев покурского и нижней части березовского надгоризонтов). При исследовании пограничных отложений наиболее доказательным оказался новый разрез скв. А Вынгапуровской площади в интервале глубин 958,2-970,0 м: именно здесь удалось непосредственно проследить пограничные отложения туронского и коньякского ярусов (верхние слои кузнецовской и низы седельниковской свит) (рис. 1).

По имеющимся данным [7], резкое изменение литологии и состава микрофауны в смежных по разрезу стратонах указывает на разномасштабный перерыв в осадконакоплении.

Учитывая результаты исследований [3-8], можно предположить, что в данном случае перерыв в осадконакоплении соответствует времени отсутствия в разрезе нижних слоев коньякского яруса. В региональных стратонах это самые верхние опесчаненные слои кузнецовской свиты. Раннеконьякская зона фораминифер Haplophragmium chapmani, Ammoscalaria antis сохранилась от размыва только в понижениях рельефа в самых верхних слоях литологически измененной кузнецовской свиты. Например, в разрезах Камышловских скв. 1-р, 2-р и др. в Омской впадине сохранились от размыва верхние слои кузнецовской свиты предположительно раннеконьякского возраста [5, 6, 8]. Серые алевролит-песчаные породы, отличающиеся от нижележащих темно-серых глин кузнецовской свиты, обнаружены и в северном Зауралье. Здесь



№ 1(45) **♦** 2021

APCKOE MOPE Дуді Туруханск р. Ниж. Тунгуска P. Bax Напас

Рис. 1. Схема расположения исследованных площадей и разрезов скважин Западной Сибири

 $\bigcirc_1 \bigcirc_2 \bigcirc_3 \bigcirc_4 \bigcirc_5 \bigcirc_6 \bigcirc_7$

1 – граница Западно-Сибирской равнины; площади: 2 – Вынгапуровская (скв. А), 3 — Южно-Русская, 4 — Парусовая, 5 — Ван-Еганская; 6 – Камышловские скважины; 7 – площадь возле г. Северска; 8 – скважины разной глубины

в разрезе скв. 23 (окрестности пос. Березово) в породах, соответствующих по латерали отложениям Камышловских разрезов (верхние слои кузнецовской свиты), обнаружен раннеконьякский комплекс c Haplophragmium chapmani, Ammoscalaria antis. Heпосредственно выше по этом разрезу отмечается позднеконьякский комплекс с Dentalina tineaformis, Cibicides sandidgei, слои с которым соответствуют седельниковской свите, распространенной в центральном и северном районах. Восточнее с. Пудино седельниковской свите соответствует верхняя большая часть ипатовской свиты, в самых верхних слоях которой прослежен нарымский железорудный горизонт. В прослоях зеленовато-серых алевролитов этого горизонта местами встречены желтовато-коричневые секреционно-известковые раковины фораминифер, составляющих комплекс с Dentalina basiplanata, D. tineaformis [2, 5–7]. Heoбходимо отметить, что при исследовании прибрежно-морских фаций березовской свиты восточного склона Урала также обнаружены секреционно-известковые раковины фораминифер. В нижней подсвите березовской свиты определены виды фораминифер, характерные для коньякского яруса: Discorbis sibiricus Dain, Cibicidoides praeeriksdalensis Brotzen, Valvulineria praeinfrasantonica (Miatliuk).

В подобных мелководных или прибрежно-морских фациях юго-восточного района (окрестности г. Северска, Томский район) в серых алевролитах ипатовской свиты (мощность 20 м) обнаружен сборный коньякский комплекс фораминифер с Haplophragmium chapmani, Cibicides sandidgei [6]. Кратко описаны опесчаненные породы разных свит окраинных районов, соответствующих седельниковской свите одноименного горизонта и отличающихся присутствием секреционно-известковых раковин фораминифер коньякского возраста [7].

Но основной целью данной статьи являются исследования серых опок и опоковидных глин седельниковской свиты, распространенных частично в западном [6], а также в центральном и северном районах. В центральном районе (южнее широтного течения р. Обь) в ней обнаружены редкие неудовлетворительной сохранности агглютинированные кварцево-кремнистые раковины фораминифер родов Reophax, Labrospira, Haplophragmoides и др. [5-8]. В северном районе, как следует из наших исследований, эти фораминиферы не обнаружены. Все приведенные сведения характеризуют изменяющуюся обстановку осадконакопления несколько обмелевшего (по сравнению с туронским) коньякского бассейна и, соответственно, формирования различных свит, относимых к седельниковскому горизонту Западной Сибири.

Материал и методы исследований

В лаборатории микропалеонтологии в последнее время исследованы 10 образцов скв. А Вынгапуровской площади, четыре из них отобраны из интервала 958,2–970,0 м: нижний 8,61 м нк¹ (гл. 966,81 м), средний 7,81 м нк (гл. 966,07 м), верхний 4,59 м нк (гл. 962,79 м) и 3,24 м нк (гл. 961,44 м), а также вышележащие образцы (гл. 958,15 м и инт. 934,27-905,56 m).

В образцах с глубин 966,81 и 966,07 м обнаружена различная микрофауна. По видовому составу и количеству экземпляров отдельных видов наиболее шроко представлены фораминиферы, отмечены немногочисленные радиолярии.

Вся микрофауна пиритизирована. Наряду с ней присутствуют шарообразные, дискообразные и палочкообразные стяжения пирита, встречены также прозрачные спикулы губок.

Вмещаемые породы литологически состоят из темно-серой глины кузнецовской свиты одноименного горизонта.

¹Точка начала керна.



Обнаруженная микрофауна, судя по систематическому составу фораминифер, обычно распространена в верхних слоях кузнецовской свиты и ранее датирована поздним туроном [2, 5, 6].

Учтены данные по этой части разреза в Ван-Еганских скважинах 1002, (инт. 942,15—934,4 м, пять образцов) и 2031 (инт. 935,3—929,0 м, семь образцов) также из северного палеобиогеографического района. Рассмотрены микрофауна и литология предыдущих разрезов турона — коньяка из западного, центрального, южного, восточного и юго-восточного районов Западной Сибири [2, 5, 6, 8, 10] (см. рис. 1).

Основными методами, использованными в данной работе, являются морфологический, биофациальный, биостратиграфический и ритмостратиграфии.

Морфологический метод использован при изучении состава и структуры стенки раковин фораминифер, а также особенностей их строения. Это основной метод в определении таксонов и видового состава комплексов этих организмов.

Биофациальный метод дал возможность коррелировать разные фации с несколько изменяющимися комплексами фораминифер. Особенно наглядно это при сравнении комплексов фораминифер из относительно глубоководных и прибрежно-морских фаций [5]. Заметное различие наблюдается в составе фораминифер из прибрежно-морских фаций, в которых наряду с агглютинированными кварцевокремнистыми иногда присутствуют секреционно-известковые раковины.

Биостратиграфический метод позволил установить сходные таксоны и комплексы в пределах единых биохорий, уточнить возраст западносибирских стратонов. Так, например, фораминиферы из кузнецовской свиты Западно-Сибирской провинции оказались сходными с туронскими (Formation Seabee) Канадской провинции в пределах Арктической палеобиогеографической области одноименного циркумполярного пояса [11, 12].

Метод ритмостратиграфии в осадконакоплении основан на резком различии литологии и состава микроорганизмов в смежных по разрезу стратонах, в основном свитах [1, 8], и использован с целью зонального расчленения стратонов среднего и верхнего мела. Ранее его применяли для расчленения стратонов верхнего мела и палеогена Западной Сибири [5–7].

Результаты исследований

Накопленный за многие десятилетия фактический материал по фораминиферам из меловых отложений Западной Сибири дал возможность установить три отдела: нижний (берриас — баррем), средний (апт — турон) и верхний (коньяк — маастрихт) меловой системы [8]. Новые материалы позволили уточнить возраст пограничных коньяк-туронских отложений среднего и верхнего отделов меловой системы. Подобному выводу способствовали ис-

следования фораминифер в последние годы, проводимые по разрезам турона — коньяка северного палеобиогеографического района. Затем проведено сравнение с подобными таксонами других районов в Западно-Сибирской, а затем в Канадской провинции (Северная Канада, Северная Аляска) [5, 11, 12].

При исследовании разрезов скважин из северного района (Вынгапуровская площадь, скв. А; Ван-Еганские скв. 1002, 1031) подтвердилось сходство состава фораминифер и вмещающих пород (темно-серые глины кузнецовской свиты) с подобными раковинами и вмещающими породами из других районов Западной Сибири. Комплексы исследуемых фораминифер из верхних слоев кузнецовской свиты северного района имеют большое сходство по видовому составу и облику с таковыми из разрезов скважин центрального района. Примером является разрез Нововасюганской опорной скв. 1-р. Таксоны фораминифер пограничных отложений в верхах кузнецовской свиты окраинных районов отличаются обеднением систематического состава, грубозернистостью агглютинированных и присутствием секреционно-известковых раковин или только находками последних.

Вышележащие пограничные отложения седельниковской свиты в северном районе состоят из серых опоковидных глин и опок, в которых полностью отсутствует микрофауна. В центральном районе в этих отложениях известны единичные неудовлетворительной сохранности агглютинированные фораминиферы родов Reophax, Labrospira, Haplophragmoides и др. В темно-серых глинах верхней части кузнецовской свиты (скв. А, гл. 966,81 и 966,07 м) обнаружен разнообразный комплекс фораминифер, в котором выделены агглютинированные кварцево-кремнистые раковины фораминифер хорошей сохранности. Но, по-видимому, самые верхние опесчаненные слои кузнецовской свиты, известные в Омской впадине и местами в Зауралье, здесь отсутствуют.

Установленный в двух нижних образцах комплекс фораминифер состоит из 20 таксонов следующего видового состава (табл. I, II)1: Psammosphaera laevigata White (x), Pelosina (Saccammina) complanata (Franke) (•), Thurammina papillata Brady (•), Reophax inordinatus Young (•), Labrospira fraseri (Wickenden) stata Podobina (x), L. collyra (Nauss) (x), Haplophragmoides rota Nauss sibiricus Zaspelova (x), H. crickmayi Stelck et Wall (o), Recurvoidella sewellensis (Olsson) parvus (Belousova) (x), Ammobaculites agglutinoides Dain (•), Ammoscalaria antis Podobina (o), Trochammina arguta Podobina (o), T. wetteri Stelck et Wall (o), T. subbotinge Zaspelova (•), Miliamming manitobensis Wickenden (x), Pseudobolivina contorta Bulatova (x), Pseudoclavilina hastata (Cushman) (o), Gaudryinopsis angustus Podobina (x), Asarotammina

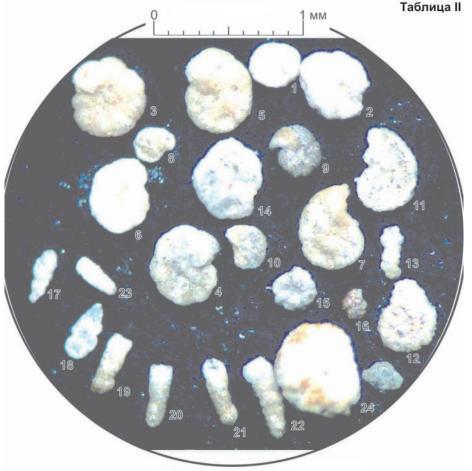
¹ • − до 5−6 экз.; х − до 15−20 экз.; о − до 30 экз. и более.





Комплекс фораминифер с *Pseudoclavulina hastata* (Западная Сибирь, скв. А, Вынгапуровская площадь, гл. 966,81 м, кузнецовский горизонт; меловая система, средний отдел, туронский ярус, верхний подъярус)

1 – Psammosphaera laevigata White; 2 – Pelosina complanata (Franke); 3–7 – Labrospira collyra (Nauss); 8–15 – Haplophragmoides crickmayi Stelck et Wall; 16 – H. rota Nauss sibiricus Zaspelova; 17 – Ammoscalaria antis Podobina; 18 – Trochammina arguta Podobina; 19 – T. wetteri Stelck et Wall; 20 – Milliammina manitobensis Wickenden; 21–22 – Pseudobolivina contorta Bulatova; 22–29 – Pseudoclavulina hastata (Cushman); 30–31 – Gaudryinopsis angustus Podobina



Комплекс фораминифер с Pseudoclavulina hastata Западная Сибирь, скв. А, Вынгапуровская площадь, гл. 966,07 м, кузнецовский горизонт; меловая система, средний отдел, туронский ярус, верхний подъярус)

1 – Psammosphaera laevigata White; 2 – Thurammina papillata Brady; 3-4 - Labrospira collyra (Nauss); 5–7 – *Haplophragmoides rota* Nauss sibiricus Zaspelova; 8-10 - H. crickmayi Stelck et Wall; 11-12 - Ammoscalaria antis Podobina; 13 - Ammobaculites agglutinoides Dain; 14 – Trochammina wetteri Stelck et Wall; 15 - T. subbotinae Zaspelova; 16 - T. arguta Podobina; 17-18 -Pseudobolivina contorta Bulatova; 19–22 – Pseudoclavulina hastata (Cushman); 23 - Gaudryinopsis angustus Podobina; 24 - Asarotammina cf. antisa Podobina



cf. antisa Podobina (x), Cibicides westsibiricus Balakhmatova (•). Последний вид обладает секреционно-известковой стенкой также хорошей сохранности (рис. 2, 3).

При сравнении исследуемого комплекса с подобным позднетуронским из разреза Ван-Еганской скв. 1002 (гл. 932,55 м) можно отметить, что вынгапуровский комплекс отличается большим видовым разнообразием и лучшей сохранностью раковин. Характерные для позднего турона виды Ammoscalaria antis Podobina и Trochammina arquta

Роdobina в данных комплексах довольно представительны (до 10–15 экз.). Можно предположить, что морской позднетуронский бассейн, в котором обитали указанные позднетуронские виды, по сравнению с позднее распространенным коньякским был относительно более глубоководным, с четко выраженной восстановительной обстановкой, в которой обитали бентосные организмы. Об этом можно судить по пиритизированным раковинам, а также значительному количеству других пиритизированных форм, найденных совместно с фораминиферами.

Система	Отдел	Ярус	Подъярус	Горизонт	Литологическая колонка	Глубина, м	Зона фораминифер	Комплекс характерных фораминифер
В	Верхний	Коньяк	ı	Седельни- ковский	-"-"-"-"- "-"-"-"-"- "-"-"-"-"-	962,79	_	_
Меловая	Средний	Турон	Верхний	Кузнецовский	_"_"_"_"_	966,07	Pseudoclavulina hastata	Haplophragmoides crickmayi Stelk et Wall, Ammoscalaria antis Podobina, Trochammina arguta Podobina, Pseudoclavulina hastata (Cushman)

Рис. 2. Схема стратиграфии пограничных отложений турона – коньяка скв. А Вынгапуровской площади (в образце на гл. 962,79 м обнаружены многочисленные белые мелкие шарики и диски, по-видимому, одноклеточных водорослей; положение глубин показано условно)

1 – темно-серые глины кузнецовской свиты; 2 – серые опоковидные глины и опоки седельниковской свиты

Система	Отдел	Ярус	Подъярус	Горизонт	Восточный склон Урала	Западный, центральный и северный районы	Восточный и юго-восточный районы
Меловая	Верхний	Коньяк	I	Седельни- ковский	Березовская свита (нижняя подсвита)	© X Седельниковская свита	
Мел	Средний	Турон	Верхний	Кузнецовский	30	Кузнецовская свита она Pseudoclavulina hastat	

Рис. 3. Схема стратиграфии пограничных отложений турона – коньяка Западной Сибири

1 — комплекс фораминифер с Discorbis sibiricus и другими секреционно-известковыми раковинами (коньяк); 2 — комплекс фораминифер с Haplophragmium chapmani, Ammoscalaria antis (Омская впадина), Зауралье (нижний коньяк), окрестности пос. Березово (скв. 23); 3 — комплекс фораминифер с Cibicides sandidgei, Dentalina tineaformis (верхний коньяк), окрестности пос. Березово (скв. 23); 4 — единичные агглютинированные раковины фораминифер (коньяк); 5 — комплекс фораминифер с Dentalina basiplanata, D. tineaformis (верхний коньяк), прослои алевролитов в Нарымском железорудном горизонте; 6 — обобщенный комплекс коньякских фораминифер с Haplophragmium chapmani, Cibicides sandidgei (коньяк), окрестности г. Северска (Томский район)



Почти все они серого цвета, за исключением примитивно устроенных раковин (роды *Psammosphaera*, *Pelosina*, *Thurammina*, обломки *Hyperammina*), а также рода *Asarotammina*, раковины которых всегда белые. Наличие значительного количества целых раковин и обломков примитивных форм указывает на регрессивный цикл в осадконакоплении туронского бассейна.

В образцах скв. А Вынгапуровской площади, отобранных выше (инт. 958,2-970,0 м, 4,59 м нк, гл. 962,79 м; 3,24 м нк, гл. 961,44 м) и литологически представленных серой опоковидной глиной и опокой, микрофауна не обнаружена. Однако в нижнем образце (гл. 962,79 м) присутствуют сравнительно мелкие белые шарики и лепешковидные формы неясного систематического положения, возможно, остатки одноклеточных водорослей. Между образцами с гл. 966,07 и 962,79 м прослежено изменение литологии и состава организмов. Известно, что такое резкое различие литологии пограничных пород и органики соответствует региональному перерыву в осадконакоплении [1, 7]. Авторы считают, что к геологическим событиям, повлиявшим на образование подобного и других перерывов, относятся тектонические движения. Они приводили к обмелению и осушению бассейна, подъему территории и, вероятно, размыву отложившихся осадков.

По нашим исследованиям, предполагаемый перерыв, по-видимому, соответствует началу коньякского времени. Известные опоковидные глины и опоки седельниковской свиты – это, возможно, большая верхняя часть коньякского яруса, накопившаяся после указанного перерыва, о чем свидетельствуют находки микрофауны и моллюсков в краевых частях коньякского бассейна Западной Сибири. Из исследуемого разреза, вероятно, выпадают нижние слои этого яруса. По данным В. М. Подобиной [7], опоковидные породы седельниковской свиты соответствуют нижнеберезовской подсвите одноименной свиты Восточного склона Урала. В региональной стратиграфической схеме Западной Сибири [9] отложения седельниковской свиты датированы сантонским возрастом, что, по нашему мнению, ошибочно. Рассматриваемые нижележащие отложения верхних слоев кузнецовской свиты в исследуемом разрезе выделены в ранее известную зону верхнего турона – Pseudoclavulina hastata [5, 6, 8], которая в Западной Сибири отделяется (судя по предыдущим исследованиям других разрезов) от нижнетуронской появлением характерных видов (Ammoscalaria antis Podobina, Trochammina arguta Podobina и Textularia anceps Reuss) и увеличением количества экземпляров зонального вида. В разрезе скв. А Вынгапуровской площади на гл. 766,81 и 766,07 м последний вид не обнаружен, однако встречены раковины хорошей сохранности первых двух видов, характерные только для позднего турона. Представители рода Asarotammina впервые встречены в туроне северного палеобиогеографического района в разрезах скв. 1016 Парусовой площади, (гл. 1016,65 м) и скв. 124 (гл. 990,20 м) Западно-Тамбейской площади. Ранее В. М. Подобиной были опубликованы данные по туронскому виду рода Asarotammina [7]. Кроме вынгапуровского и указанных разрезов северного палеобиогеографического района, вид Asarotammina antisa Podobina нигде не обнаружен.

Отложения терригенно-опоковидного березовского надгоризонта, состоящего из седельниковского (коньяк) и славгородского (сантон – нижний кампан) горизонтов, совместно с вышележащим терригенно-карбонатным ганькинским горизонтом входят в состав верхнего отдела меловой системы. Отложения этого отдела рассматриваются в сокращенном объеме, так как нижние ярусы (сеноман и турон) совместно с аптом и альбом отнесены к среднему мелу [8]. В основе исследований биостратиграфии коньяка находятся единичные раковины агглютинированных кварцево-кремнистых (центральный район) и секреционно-известковых фораминифер. Но последние, как уже было указано, распространены местами в окраинных палеобиогеографических районах [10]. Тектонические движения, проявившиеся, по нашему мнению, наиболее активно в начале коньякского века, привели к перерыву в осадконакоплении и отсутствию нижних слоев этого яруса. Позднее в коньякском мелководном Западно-Сибирском бассейне формировались терригенноопоковидные и терригенно-песчаные породы на большей территории региона, в которых (кроме окраинных районов) почти отсутствует микрофауна.

Выводы

Полученные новые сведения по 10 образцам из разреза скв. А Вынгапуровской площади с учетом предыдущих исследований дали возможность уточнить границу турона и коньяка в пределах северного палеобиогеографического района Западной Сибири. В соответствующих литостратиграфических подразделениях эта граница прослеживается между кузнецовской и седельниковской свитами одномменных горизонтов. Раннеконьякский комплекс с Haplophragmium chapmani, Ammoscalaria antis прослеживается только в верхних опесчаненных слоях кузнецовской свиты в понижениях рельефа (в Омской впадине, местами в Зауралье). Из-за отсутствия в других районах этого комплекса предполагается региональный перерыв в раннеконьякское время.

В окраинных районах в коньякском бассейне обитали секреционно-известковые фораминиферы, которые позволили определить возраст вмещающих пород и выделить прибрежно-морские фации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. **Наливкин Д. В.** Проблемы перерывов. Этюды по стратиграфии. М.: Наука, 1974. С. 10–21.
- 2. Подобина В. М. Биостратиграфия и фораминиферы коньяка юго-востока Западной Сиби-



- ри // Горные ведомости. 2018. № 2 (156). С. 38– 56, 5 палеонт. табл.
- 3. **Подобина В. М.** Зависимость региональной стратиграфии от тектонических движений (на примере верхнего мела и палеогена Западной Сибири) // Вестн. ТГУ. 2013. № 366. С. 153–156.
- 4. Подобина В. М. Типовой разрез коньякского яруса Западной Сибири и его микропалеонтологическая характеристика // Природокомплекс Томской области / под ред. А. И. Гончаренко. Т. І. Геология и экология. Томск: Изд-во ТГУ, 1995. С. 52—66, 8 палеонт. табл.
- 5. **Подобина В. М.** Фораминиферы и биостратиграфия верхнего мела Западной Сибири. Томск: Изд-во НТЛ, 2000. 388 с., 80 палеонт. табл.
- 6. **Подобина В. М.** Фораминиферы, биостратиграфия верхнего мела и палеогена Западной Сибири. Томск: ТГУ, 2009. 432 с., 73 палеонт. табл.
- 7. **Подобина В. М.** Фораминиферы и биостратиграфия верхнего мела (коньяк маастрихт) Западной Сибири. Томск: Издательский дом ТГУ. 2019. 203 с., 51 палеонт. табл.
- 8. **Подобина В. М.** Фораминиферы и биостратиграфия среднего мела Западной Сибири. Томск: Издательский дом ТГУ, 2018. 138 с., 25 палеонт. табл., 28 фиг.
- 9. **Региональные** стратиграфические схемы меловых отложений Западной Сибири (приняты VI Межвед. стратигр. совещ. 16 октября 2003 г.; утв. МСК РФ 8 апреля 2005 г.). Новосибирск, 2005.
- 10. **Podobina V. M.** Paleozoogeographic regionalization of Northern Hemisphere Late Cretaceous basin based on Foraminifera // Proc. 4th Int. Workshop on agglutinated foraminifera. Spec. publ. 1995. No. 3. P. 239–247, 5 figs.
- 11. **Tappan H.** Foraminifera from the Arctic slope of Alaska. Pt. 3: Cretaceous Foraminifera // U.S. Geol. Survey Prof. Paper. 1962. No. 236. P. 91–209, pls. 29–58.
- 12. **Wall J.** Cretaceous Foraminifera of the Rocky Mountain Foothills, Alberta // Res. Council Alberta. 1967. Bull. 20. 185 p., 15 pls.

REFERENCES

- 1. Nalivkin D.V. *Problemy pereryvov. Etyudy po stratigrafii* [Problems of breaks. Studies in stratigraphy]. Moscow, Nauka Publ., 1974, pp. 10–21. (In Russ.).
- 2. Podobina V.M. [Foraminifera and biostratigraphy of Upper Cretaceous (Coniacian— Maastrichtian)

- of Western Siberia]. *Gornyye vedomosti*, 2018, no. 2 (156), pp. 38–56, 5 pls. (In Russ.).
- 3. Podobina V.M. [Dependence of regional stratigraphy on tectonic movements (by example of Upper Cretaceous and Paleogene of Western Siberia)]. *Vestnik TGU Tomsk State University Journal*, 2013, no. 366, pp. 153–156. (In Russ.).
- 4. Podobina V.M. [Type section of the Coniacian stage of Western Siberia and its micropaleontological characteristics]. *Prirodokompleks Tomskoy oblasti* [Natural complex of Tomsk region]. Tomsk, Tomsk University Publ., 1974, vol. 1, pp. 52–66, 8 pls. (In Russ.).
- 5. Podobina V.M. Foraminifery i biostratigrafiya verkhnego mela Zapadnoy Sibiri [Foraminifera and biostratigraphy of the Upper Cretaceous of Western Siberia]. Tomsk, NTL Publ., 2000. 388 p, 80 pls. (In Russ.).
- 6. Podobina V.M. Foraminifery i biostratigrafiya verkhnego mela i paleogena Zapadnoy Sibiri [Foraminifera, biostratigraphy of the Upper Cretaceous and Paleogene of Western Siberia]. Tomsk, Tomsk State University Publ., 2009. 432 p., 73 pls. (In Russ.).
- 7. Podobina V.M. Foraminifery i biostratigrafiya verkhnego mela (konyak maastrikht) Zapadnoy Sibiri [Foraminifera and biostratigraphy of Upper Cretaceous (Coniacian Maastrichtian) of Western Siberia]. Tomsk, Publishing House of Tomsk State University, 2019. 203 p., 51 pls. (In Russ.).
- 8. Podobina V.M. Foraminifery i biostratigrafiya srednego mela Zapadnoi Sibiri [Middle Cretaceous foraminifera and biostratigraphy of Western Siberia]. Tomsk, Publishing House of Tomsk State University, 2018. 138 p., 25 pls. (In Russ.).
- 9. Regionalnye stratigraficheskiye skhemy melovykh otlozheniy Zapadnoy Sibiri [Regional Stratigraphic charts of Cretaceous deposits of Western Siberia: adopt. by 6th Interdep. Stratigraphic Conf. on 16th of October, 2003]. Novosibirsk, 2005. (In Russ.).
- 10. Podobina V.M. Paleozoogeographic regionalization of Northern Hemisphere Late Cretaceous basin based on Foraminifera. *Proc.* 4th *Int. Workshop on agglutinated foraminifera. Spec. publ.*, 1995, no. 3, pp. 239–247, 5 figs.
- 11. Tappan H. Foraminifera from the Arctic slope of Alaska. Pt. 3: Cretaceous Foraminifera. *U.S. Geol. Survey Prof. Paper.*, 1962,no. 236, pp. 91–209, pls. 29–58.
- 12. Wall J. Cretaceous Foraminifera of the Rocky Mountain Foothills, Alberta. *Res. Council Alberta*, 1967, bull. 20. 185 p., 15 pls.

© В. М. Подобина, Г. М. Татьянин, 2021



УДК 553.551.065:550.84

МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ КОЛЛЕКТОРОВ В КРЕМНИСТЫХ ИЗВЕСТНЯКАХ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ГИДРОТЕРМАЛЬНЫХ ФЛЮИДОВ (СЕРИИ С H₂O₂, HCL И СОЛЯМИ)

М.Ю. Зубков

Западно-Сибирский геологический центр, Тюмень, Россия

Рассмотрены результаты моделирования формирования вторичных коллекторов (гидротермальных силицитов) в кремнистых известняках, широко распространенных в доюрском комплексе Западной Сибири и подвергшихся воздействию гидротермальных флюидов в системах H, O-H, O, (при температурах 295 и 390 °С и концентрациях H_2O_2 от 29 до 43 %), H_2O_2 —HCl (410 °С и 0,05—1,0N соответственно) и H_2O_2 соли (400 °C, CO $_2$ 0,48 г/л; NaCl 36,8 г/л, CaCl $_2$ 3,1 г/л). Установлено, что в системе $H_2O-H_2O_2$ в реакциях гидротермального синтеза активное участие принимают металлы, входящие в состав автоклава, что в известной степени затрудняет изучение результирующих минеральных ассоциаций. Главными новообразованными (гидротермальными) минеральными фазами являются гематит, ангидрит, самородная сера и сульфаты, а также окислы хрома и никеля; неустойчивыми исходными минералами – доломит, пирит и кальцит. В системе H₂O−HCl неустойчивые минералы те же, а формирование новых (гидротермальных) ассоциаций зависит от кислотности флюида: в ультракислых условиях стабильная ассоциация каолинит-сидеритовая, в более щелочных образуется хлорит. В системе Н,О-соли образуются кислые полевые шпаты, цеолиты, волластонит и натриево-кальциевые карбонаты, разлагаются пирит, доломит, кальцит, иллит и частично биогенный кварц. Во всех экспериментах наблюдалось образование вторичной пористости за счет растворения неустойчивых минералов. Формирующиеся вторичные поры имеют очень мелкие размеры, что обусловливает высокое содержание остаточной воды в этих вторичных коллекторах. Определены основные закономерности формирования по палеозойским кремнистым известнякам вторичных коллекторов – гидротермальных силицитов.

Ключевые слова: кремнистые известняки, гидротермальные флюиды, системы $H_2O-H_2O_2$, $H_2O-H_2O_3$, $H_3O-H_2O_3$, $H_3O-H_3O_3$, гидротермальные силициты.

MODELING OF RESERVOIR FORMATION IN SILICEOUS LIMESTONES UNDER THE INFLUENCE OF HYDROTHERMAL FLUIDS (SERIES WITH $\rm H_2O_2$, HCL AND SALTS)

M. Yu. Zubkov

West-Siberian Geological Center, Tyumen, Russia

The results of modeling the formation of secondary reservoirs (hydrothermal silicites) in siliceous limestones with a wide areal distribution in the pre-Jurassic complex of Western Siberia, exposed to hydrothermal fluids in the H₂O-H₂O₂, H₂O-HCl and H₂O-salt systems are considered. Experiments with the hydrogen peroxide were carried out at temperatures of 295 and 390°C and H₂O₂ concentrations from 29 to 43%. Experiments with hydrochloric acid were carried out at a temperature of 410°C, and its concentration varied from 0.05 to 1.0N. Experiments with salts were carried out at a temperature of 400°C, CO₂ concentration of 0.48 g / I and a salt content of 36.8 g / I NaCl and 3.1 g / I CaCl₂. It was found that in the first system (H₂O-H₂O₂), metals that compose the autoclave take an active part in reactions of hydrothermal synthesis, that, to a certain extent, complicates the study of resulting mineral associations. Hematite, anhydrite, native sulfur and sulphates, as well as chromium and nickel oxides are the newly formed (hydrothermal) mineral phases in this system. Dolomite, pyrite and calcite are unstable initial minerals. Dolomite, calcite, and pyrite are also unstable minerals in the water-hydrochloric acid system, and the formation of new (hydrothermal) associations depends on the acidity of the fluid: the stable association is the kaolinite-siderite one under ultra-acidic conditions, and chlorite is formed in more alkaline conditions. Acid feldspar, zeolite, wollastonite and sodium-calcium carbonates are formed in the water-salt system. Pyrite, dolomite, calcite, illite and partially biogenic quartz are decomposed. In all experiments, the formation of secondary porosity was observed due to the dissolution of unstable minerals. It is determined that forming secondary pores are very small in size, which leads to a high content of residual water in these secondary reservoirs. The main regularities of the secondary reservoirs formation - hydrothermal silicites - are revealed by Paleozoic siliceous limestones.

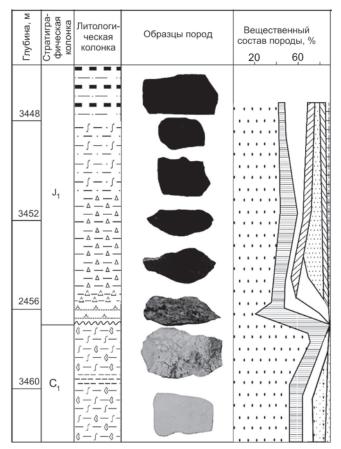
Keywords: siliceous limestones, hydrothermal fluids, systems, $H_2O-H_2O_2$, H_2O-HCl , H_2O -salts, secondary reservoirs, hydrothermal silicites.

DOI 10.20403/2078-0575-2021-1-32-48

В предыдущих публикациях автором была обоснована перспективность поисков вторичных коллекторов, названных им гидротермальными си-

лицитами (ГС), которые образуются в кремнистых известняках (КИ), широко распространенных в кровельной части доюрского комплекса Западно-Си-





бирского бассейна [4–6]. В этих публикациях было доказано, что ГС образуются в результате тектоногидротермальной проработки исходных КИ [2, 4–6]. Однако полученные результаты дают лишь самые общие представления о роли гидротермальных флюидов (ГФ) в формировании вторичной пористости в КИ. Для более обоснованной реконструкции процесса образования коллекторов в этих породах необходимо как можно более точно восстановить состав и температуру ГФ, воздействовавших на указанные породы. С этой целью автором выполнен большой комплекс экспериментальных работ по моделированию образования вторичных коллекторов в КИ с использованием ГФ, имевших в своем составе CO_2 , HCI, H_2O_2 , а также солей (NaCl и $CaCI_2$).

Результаты взаимодействия КИ с ГФ, имевшими различную температуру и концентрацию CO_2 , были рассмотрены в работе [3]. Однако остался открытым вопрос о причинах осветления исходных почти черных КИ до светло-серого цвета, который имеют образовавшиеся по ним ГС. Более того, зона осветления проникает и в перекрывающие ГС базальные юрские отложения (рис. 1).

Очевидно, что в составе ГФ присутствует окислитель, который окисляет органическое вещество (ОВ) в составе КИ, обусловливающее их темно-серый цвет. Наиболее очевидный окислитель — кислород, поэтому в наших экспериментах в качестве его источника использовалась перекись водорода.

Действительно, наличие кислорода в составе флюидов, отделяющихся от магматических тел, убедительно обосновано В. И. Бгатовым в его не-

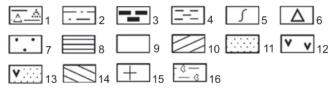


Рис. 1. Литологический разрез по скв. 10П Северо-Варьеганского месторождения с зоной осветления, охватившей нижнекарбоновые отложения, представленные гидротермальными силицитами (ГС) и проникшей в базальные нижнеюрские осадки (по [4] с изменениями)

1 — фангломераты с углисто-глинистым цементом в различной степени осветленные; 2 — алевролиты 3 — уголь; 4 — ГС; 5 — поверхности скольжения; 6 — брекчиевидная текстура; 7 — кварц; 8 — сидерит; 9 — каолинит; 10 — хлорит; 11 — иллит; 12 — мусковит; 13 — иллит с мусковитом; 14 — смешанослойные образования; 15 — ОВ; 16 — гидротермальные силициты

большой по объему, но богатой фактическим материалом монографии [1].

По этой причине в настоящей публикации рассматриваются результаты воздействия на КИ ГФ, содержащих H_2O_2 , помимо HCI и солей.

Эксперименты проводились в Институте геологии и минералогии СО РАН им. В. С. Соболева под руководством д. г.-м. н., проф. Г. Ю. Шведенкова [6, 11].

Вариации температур и концентраций H_2O_2 и HCl были выбраны по данным, приведенным в публикациях вулканологов [7—9].

В настоящей публикации использованы следующие аббревиатуры: Ам.кр — аморфный кремнезем, Анг — ангидрит, Анк — анкерит, Гем — гематит, ГС — гидротермальные силициты, ГФ — гидротермальный флюид, Дл — доломит, Ил — иллит, Ка — кальцит, Кв — кварц, КИ — кремнистый известняк, Кт — каолинит, ОВ — органическое вещество, Пи — пирит, Сид — сидерит, РСА — рентгеноструктурный анализ, РЭМ — растровый электронный микроскоп, Хл — хлорит, S° — самородная сера.

Аппаратура и методики

Эксперименты проводились в реакторах (автоклавах) объемом около 10 см³ из нержавеющей стали, давление в которых задавалось по коэффициенту заполнения исходя из соотношения между давлением, объемом и температурой в этой системе [10].

Образцы КИ для экспериментов отобраны из кровельной части доюрского комплекса (C_{1v}) Северо-Варьеганского месторождения с глубины 3480 м. Подготовлены они были следующим образом. С помощью алмазной пилы вырезались прямоугольные столбики сечением около 1 см² и длиной примерно 2—3 см. Изготовленные образцы помещались в реактор, заливались дистиллированной водой; в зависимости от цели эксперимента добавлялось необходимое количество H_2O_2 , HCl, солей, а в последней серии опытов (с солями) также CO_2 ; затем образцы выдерживались при определенных температурах и давлении.



После проведения экспериментов образцы изучались под бинокуляром и описывались, а затем исследовались с использованием РСА и съемки на РЭМ. Целью последней процедуры было определение изменения структуры порового пространства после гидротермальной обработки. Изменения минерального состава фиксировались главным образом на поверхности образца. Кроме того, исследовалась также часть образовавшихся в процессе эксперимента осадков.

В составе КИ помимо основных породообразующих компонентов (5–45 % биогенного кремнезема и 45–90 % карбонатов) также присутствуют глинистые минералы, представленные преимущественно Ил с небольшой примесью Кт и Хл, суммарное содержание которых варьирует от 5 до 16 %. Кроме Кц в них присутствуют Дл (до 12 %) и Пи (до 6,3 %). В качестве незначительной примеси отмечены обломки полевых шпатов (в среднем около 1,5 %), Сид (до 1,6 %) и ОВ (в среднем примерно 1,4 %) [4].

Опыты объединялись в серии, которые, как правило, проводились при одной и той же температуре, но с различной концентрацией H_2O_2 , HCl, а также с солями в составе ГФ, причем при одном и том же давлении (70 МПа). В экспериментах, проводившихся с H_2O_2 в качестве буфера для приведения значений Eh в гидротермальной системе к нейтральной величине, добавлялась пиритовая шихта.

Оценка формирования вторичной пористости осуществлялась лишь на качественном уровне, поскольку она возникала в основном в приповерхностной части образца, так как система образец – ГФ была закрытой и процесс растворения образца флюидом прекращался по мере его насыщения растворяемыми минеральными компонентами. Кроме того, на поверхности образцов после завершения экспериментов часто наблюдалось отложение пленочек и корочек, сложенных новообразованными гидротермальными минералами, которые препятствовали анализу происходивших на поверхности структурных изменений, в частности оценке вторичной пористости.

Поэтому для анализа характера растворения или выщелачивания поверхности образцов КИ под действием ГФ выбирались участки, на которых отсутствовали отложения вторичных минералов гидротермального происхождения.

Результаты экспериментов приведены в таблице.

Результаты исследований

Серия с Н,О,

Начнем рассмотрение полученных результатов с экспериментов, в которых ГФ имел различную концентрацию $\rm H_2O_2$.

Первый эксперимент продолжительностью 10 сут проводился с ГФ, имевшим температуру 390 °C, в составе которого присутствовало 37,5 % H_2O_2 (см. таблицу).

После завершения эксперимента наблюдались интенсивные изменения исходного образца и многочисленные новообразованные фазы на его поверхности (рис. 2, а). Из-за этого он приобрел многослойное строение. Нижняя оболочка светлосерого цвета толщиной около 1 мм представляет собой зону выщелачивания из образца неустойчивых минералов и окисления ОВ. Последующие зоны — это новообразованные минеральные ассоциации, имеющие различный цвет и структурные особенности в зависимости от состава слагающих их фаз.

Осветленная поверхность образца покрылась мелкими порами и протяженными микрокавернами. Судя по полученному с его поверхности элементному спектру, она сложена Кв и Ил с небольшой примесью Анг и магнезиального Кц.

Отмечаются также мелкие массивные таблитчатые и ромбовидные кристаллы хромата кальция (хроматит) ярко-желтого цвета (см. рис. 2, а, б). Многочисленные мелкие кристаллы Анг имеют или призматический, или игольчатый габитус (см. рис. 2, в). Встречен также алюмосиликат кальция в форме тонких пластинчатых агрегатов (см. рис. 2, г).

Золотисто-волокнистая блестящая корочка расположенная на его поверхности, оказалась сложенной преимущественно тонкими пластинчатыми кристаллами хромата никеля с небольшой примесью Анг и Ам.кр (рис. 3, a).

В составе новообразованных корочек встречаются округлые агрегаты, состоящие из многочисленных очень мелких чешуевидных кристаллов силиката никеля, на поверхности которых присутствуют хлопья Ам.кр (см. рис. 3, б). Размеры отдельных чешуек силиката никеля варьируют в пределах 0,5—1,5 мкм. Судя по результатам РСА, эти силикаты никеля по параметрам кристаллической решетки близки к виллемсеиту, поэтому условно их формулу можно представить как $Ni_3[Si_4O_{10}](OH)_2$. Тот же минерал встречается и в виде отдельных многочисленных мелких чешуек, на поверхности которых располагаются хлопья Ам.кр, выделившиеся последними в виде закалочной фазы (см. рис. 3, в).

Рядом с крупными кристаллами кальциевого алюмосиликата присутствуют мелкие агрегаты магнезиального алюмосиликата, близкого по своему элементному составу к палыгорскиту, на поверхности которого также присутствуют хлопья Ам.кр (см. рис. 3, г).

В составе осадка, поднятого со дна автоклава, встречаются обломки этого же образца, на осветленной и выщелоченной поверхности которых наряду с бурыми агрегатами Гем встречаются мелкие кристаллы S° (см. рис. 3, д) и Анг (см. рис. 3, е).

Сопоставление результатов РСА поверхности образца до и после гидротермального воздействия на нее показало, что с его приповерхностной части исчезли Ил, Кт, Дл и Пи. Появились новые минералы гидротермального происхождения: Анг, Гем, соединения хрома и никеля (NiCrO₄), хроматит (CaCrO₄),

 $N_{\underline{0}} 1(45) + 2021$

Результаты анализа изменений минерального состава образцов кремнистого известняка после воздействия на него гидротермального флюида с различными температурами и соотношениями H₂O–H₂O₂, H₂O–HCI и с добавлением солей в присутствии CO₂

														_																
	Другие минералы	гидротермального происхождения		Палыгорскит, хроматит, алю-	мосиликаты кальция, NiCrO4,	NiSO ₄ , виллемсеит	NiSO₄; осадок: Пи, Кц, Гем, Анг	CrSO ₄ , NiSO ₄ ; осадок: Пи, Гем, S°, Кц, Анг	NiSO ₄ , NiCrO ₄ ; ocaдок: Пи, Кв, Aм.кр, Кц, Гем, Анг, NiSO ₄ , CrSO ₄	Хроматит, NiCrO ₄ , Cr ₂ O ₃		CaCl ₂ nH ₂ O, NiS; ocadok: Am.kp, FeCl ₂ nH ₂ O, CaCl ₂ nH ₂ O	Oсадок: FeCl ₂ nH ₂ O, CaCl ₂ nH ₂ O	Oсадок: CaCl ₂ nH ₂ O, Aм.кр	Oсадок: NiS, Cu ₂ S, CaCl ₂ ·nH ₂ O	Oсадок: CaCl ₂ ·nH ₂ O	Осадок: Кв, Ам.кр, CaCl ₂ ·nH ₂ O, Cr ₂ O ₃		Волластонит, цеолиты, Na—Ca карбонаты, ПШ Осадок: Cu ₂ O	цеолиты, ПШ Осадок: Сu ₂ O, CuO, NiO	Волластонит, цеолиты, Na–Ca карбонаты Осадок: Сu ₂ O, цео- литы, силикаты Na и Ca, Na–Ca карбонаты									
		Гем	+		+			+	+	+	+		0	0	0	0	0	0		0	0	0								
		Анг		+	+	+	+	+	+	+	+		н/д	н/д	н/д	+	+	+		0	0	0								
		°°		+			+	+	+	н/д		0	0	+	н/д	н/д	0		0	0	0									
		Z		0			0	0	0	0		0	٧	>	٧	V	V		V	v	V									
		АМ. Кр		+			+	+	+	+		+	+	+	+	+	+	(ν,	н/д	н/д	+									
	m	나		н/д			н/д	н/д	н/д	н/д		н/д	0	0	0	0	0	3,1 2/	0	0	0									
	ΚB	Исх		+			+	+	+	+		+	٨	^	٨	٨	٨	$CaCl_2$	v	^	٨									
r		L	,		0			0	0	0	0		0	+	+	+	+	+	,82/n,	0	0	0								
	5	Исх		н/д			н/д	н/д	н/д	н/д	7	0	П	п	П	II	П	(CO ₂ в ΓΦ 0,48 ε/л, NαCl 36,8ε/л, CaCl ₂ 3,1 ε/л)	н/д	н/д	0									
	Τ	ᆫ	Серия H ₂ O ₂	0			0	0	0	0	Серия НСІ	+	0	0	0	0	0	ε/ <i>n</i> , N	0	0	0									
	Ϋ́	Исх	Оери	0	0	0	0	Сер		П	0	н/д	н/д	н/д	н/д	0,48	0	0	0											
ľ		Z		0			0	0 0 0				^	II	II	٨	٨	Ш	, в ГФ	0	v	0									
		Анк		+		н/д	н/д	н/д	н/д		н/д	0	0	0	0	0		+	+	н/д										
	Д	ᆫ		Д/Н			н/д	н/д	н/д	н/д		+ 0	0	0	000	0	Серия соли	0	0	0										
	Сид	Исх		п			н/д	н/д	н/д	н/д	-		П	0	0	0	0	0	Сер	н/д	н/д	0								
		Ð.		0			0	0	0	0		0	0	00000	0	0	0													
	-	ᆫ		+			+	+	н/д	+	,					0	0	0	0	0	0		0	0	0					
	Кμ	Исх		V			V	v	V	v							-		0	0	v	V	٧	v		н/д	v	V		
	Соли,	г/л (Nacl 36,8, CaCl ₂ 3,1)				,						_	ı			ı	1	+	ı		ı	ı	1	ı	ı	ı		+	+	+
		Z N		37,5 -										-	_	ı	ı		1,0	8′0	0,4	0,2	0,1	0,05		1	ı	1		
	-	н ₂ О ₂ ,										37,5	37,5	37,5	37,5	37,5	37,5	43	29	29	59		ı	ı	1	ı	ı	ı		ı
		°, °		390			295	295	295	295		410	410	410	410	410	410		400	400	400									
	-	οN Π/Π		1			2	3	4	2		9	7	8	6	10	11		12	13	14									
									-	-					-		'													

Примечания. 1. Исх — исходная минеральная фаза (МФ), входящая в состав КИ; Гт — новообразованная МФ гидротермального происхождения; ГП — гидротермальные преобразования. 2. Относительное содержание МФ: < – уменьшение, > – увеличение; 0 – исчезновение или отсутствие МФ; + – появление новой МФ гидротермального происхождения, = – сохранение исходной МФ; н/д – нет данных; ПШ – полевые шпаты (кислые плагиоклазы). 3. Строки 5–14 – шихта Пи отсутствует.



№ 1(45) + 2021 —

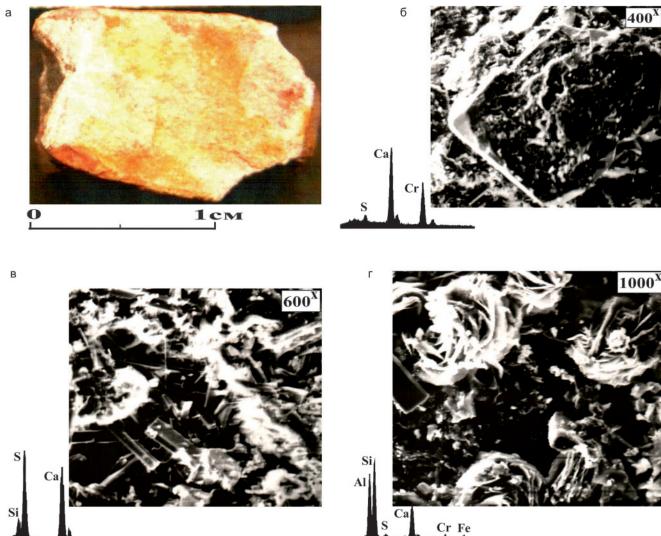


Рис. 2. Фотография образца КИ (а) и снимки РЭМ его поверхности (б–г) после воздействия на него ГФ (температура 390 °C, H_2O_2 37,5 %)

а – внешний вид образца после завершения эксперимента; б – кристалл новообразованного хроматита и его элементный спектр; в – многочисленные мелкие кристаллы гидротермального Анг и их элементный спектр; г – чешуевидные «розочки» алюмосиликата кальция и их элементный спектр; здесь и на последующих рисунках элементные спектры, расположенные рядом со снимками, получены с их площади, если нет иных указаний

алюмосиликаты кальция и магния (вероятно, в виде палыгорскита), силикат никеля (типа виллемсеита), а также S° (см. таблицу).

Вследствие растворения неустойчивых в рассматриваемых гидротермальных условиях минералов, представленных Дл, Пи, Кт, Ил, а также частично Кц и Кв, в образце формируется дополнительная (вторичная) емкость.

Следующие эксперименты проводились при одной и той же температуре (295 °C) и имели одинаковую продолжительность (6 сут), но разную концентрацию H_2O_2 в составе ГФ с целью анализа влияния на исходный образец гидротерм, характеризующихся различными параметрами Eh (см. таблицу).

В первом эксперименте из этой серии концентрация H_2O_2 в составе ГФ равна 43 % (см. таблицу).

Об изменениях структуры порового пространства поверхности образца после эксперимента су-

дить трудно, так как он сверху почти полностью покрылся корочкой новообразованных минеральных фаз (рис. 4, а). Судя по наличию линейной границы, опоясывающей весь образец, можно заключить, что в процессе проведения эксперимента в реакторе присутствовали две фазы — жидкая и газообразная (см. рис. 4, а). Сверху вниз наблюдается постепенное изменение цвета покрывающей образец корки от буровато-желтой к бурой, почти красной и затем темно-серой. Самая нижняя часть образца покрыта соломенно-желтой пудрой раздробленного Пи (буфер) (см. рис. 4, а).

Непосредственно на границе между газовой и жидкой фазами Гем отлагался в виде многочисленных микросфер (см. рис. 4, б). Своеобразная сферическая форма гематитовых образований обусловлена, вероятно, тем, что его микрокристаллы отлагались на поверхности газовых пузырьков, возникавших на границе жидкой и газовой фаз.



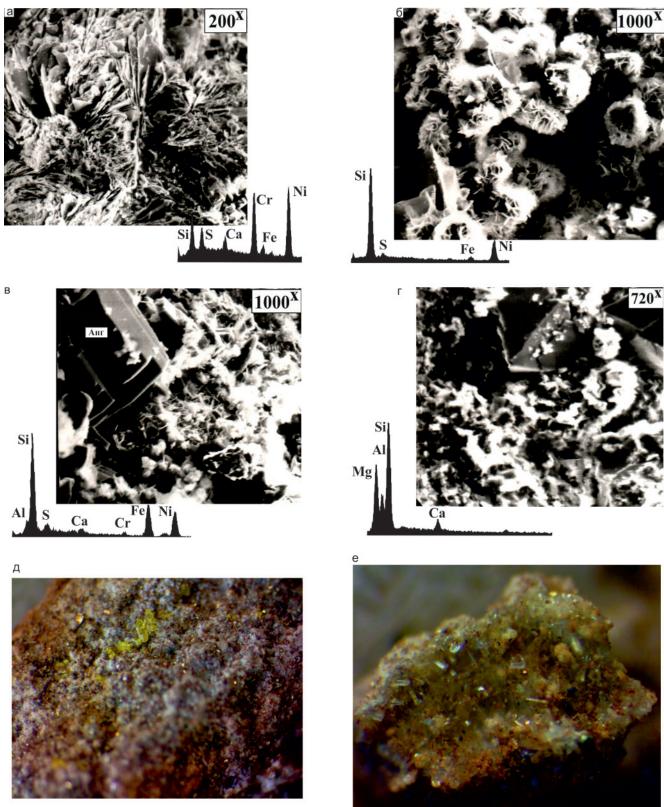


Рис. 3. Снимки РЭМ поверхности того же образца КИ (см. рис. 1) (а–г) и фотографии его обломков, поднятых со дна автоклава (д, e)

а – тонкие пластинчатые кристаллы хромата никеля с присутствующими на их поверхности мелкими агрегатами Ам.кр и Анг; б – пушистые шарообразные агрегаты мелкокристаллического силиката никеля с пленками Ам.кр на их поверхности; в – кристаллы Анг (слева вверху), мелкие пластинчатые кристаллы Гем и многочисленные мелкие чешуевидные кристаллы силиката никеля, на которых присутствуют хлопья Ам.кр (элементный спектр получен с центральной части снимка); г – кристаллы алюмосиликата кальция (вверху) и ватообразная масса, представленная магнезиальным алюмосиликатом типа палыгорскита, на поверхности которого присутствуют хлопья Ам.кр (элементный спектр получен с центральной части снимка); д – обломок образца, на поверхности которого присутствуют желтые кристаллы S°; е – другой обломок того же образца, поверхность которого покрыта многочисленными кристаллами Ан



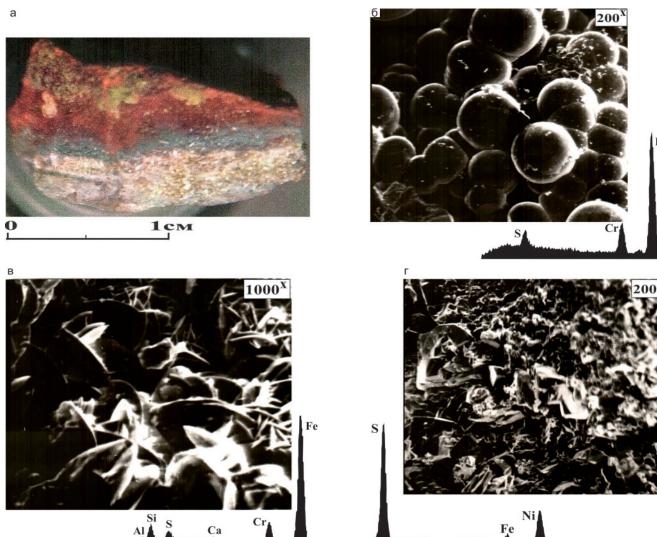


Рис. 4. Фотография образца КИ (а) и снимки РЭМ его поверхности (б–г) после воздействия на него ГФ (температура 295 °C, H_2O_2 43 %)

а — внешний вид образца после завершения опыта; б — агрегат шарообразного Гем; в — корочка пластинчатых кристаллов Гем; г — многочисленные мелкие кристаллы сульфата никеля

Ниже двухфазной границы (в жидкой фазе) отмечается присутствие многочисленных пластинчатых кристаллов Гем, размеры которых изменяются в широких пределах — от 3—5 до 20—25 мкм (см. рис. 4, в). Наиболее многочисленные скопления мелких кристаллов сульфата никеля и S° отмечается на поверхности образца чуть выше двухфазной границы. Кристаллы S° обычно обладают короткопризматическим габитусом (см. рис. 4, г).

В самой верхней части образца на его поверхности отмечается тонкая корочка желтого цвета, сложенная многочисленными мелкими кристаллами S°.

Анализ фазового состава осадка на дне автоклава показал, что он представлен буферной шихтой Пи, Кц, Гем, сульфатом никеля с примесью Анг.

Во втором опыте концентрация H_2O_2 в ГФ была ниже – 29 % (см. таблицу).

После проведения эксперимента наблюдалось осветление поверхности образца и отложение на нем корочек сложного строения, представленных микроглобулами Гем темно-серого до почти черного

цвета и желтыми кристаллами S°. Отмечены также тонкие прозрачные кристаллы Анг и мелкие чешуевидные кристаллики сульфата хрома (рис. 5, а, б). На увеличенном фрагменте предыдущего снимка видны удлиненные призматические кристаллы Анг (вверху справа), пластинчатые — Гем и волокнистые — сульфата хрома (см. рис. 5, в). Судя по расположению кристаллов Анг на поверхности мелкочешуйчатых агрегатов сульфата хрома, первый кристаллизовался из ГФ позднее (см. рис. 5, б, в).

Присутствуют также многочисленные мелкие кристаллы и их агрегаты желтого цвета, состоящие из S° с небольшой примесью Гем (черное), сульфата никеля голубовато-зеленоватого цвета и мелких многочисленных кристаллов Анг белого цвета (см. рис. 5, г).

В следующем эксперименте в составе ГФ присутствовал водный раствор следующего состава: 36.8 г/л NaCl, 3.1 г/л CaCl_2 и $29 \% \text{ H}_2\text{O}_2$ (см. таблицу), соответствующим составу пластовой воды, которая была получена из базальных нижнеюрских песчаников, а не из ГС.



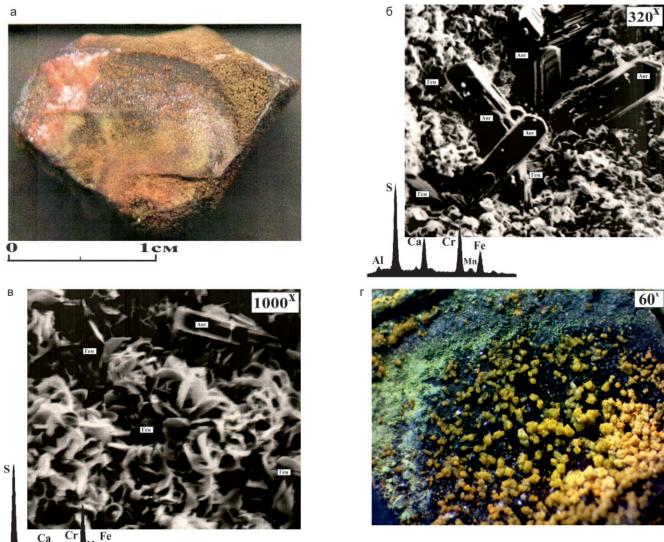


Рис. 5. Фотографии образца КИ (а), увеличенного фрагмента его обломка (г) и снимки РЭМ его поверхности (б, в) после воздействия на него ГФ (температура 295 °C, H_2O_2 29 %)

а – общий вид образца после завершения эксперимента; б – его поверхность, покрытая новообразованными фазами, представленными кристаллами Анг, мелкими чешуеобразными агрегатами сульфата хрома и немногочисленными пластинчатыми кристаллами Гем; в – увеличенный фрагмент предыдущего снимка с кристаллом Анг (вверху), редкими тонкими пластинками Гем и многочисленными чешуевидными кристаллами сульфата хрома; г – поверхность обломка, покрытая многочисленными бесцветными мелкими кристаллами Анг и сульфата хрома, голубовато-зелеными сульфата никеля и многочисленными желтыми – S

Добавление хлоридов натрия и кальция практически не повлияло на фазовый состав новообразованных минералов. Как и в предыдущих опытах, возникли новые фазы: Гем, S°, мелкие тонкие прозрачные кристаллы Анг, а также небольшое количество мелких чешуевидных агрегатов сульфатов никеля и хрома желтовато-зеленоватого цвета.

По данным РСА в результате гидротермальной обработки образца произошло слабое окремнение его поверхности, из его состава исчезли Дл, Пи, появились тонкие полупрозрачные пленочки Ам.кр, а также новообразованные минеральные фазы (S°, Гем и Анг) (см. таблицу).

В следующем эксперименте концентрация $\rm H_2O_2$ в составе ГФ также составляла 29 %, но не добавлялся пиритовый буфер.

После эксперимента извлеченный из автоклава образец носил признаки значительных изменений, которые выразились в интенсивном осветлении и выщелачивании его поверхности, что привело к образованию на ней вторичных микропустот, а также отложению новообразованных минеральных ассоциаций гидротермального происхождения, представленных светло-желтой золотистой блестящей и желтой матовой со слабым сероватозеленоватым оттенком корочками (рис. 6, а).

На выщелоченной поверхности образца КИ из ГФ отложились мелкие отдельные кристаллы Анг и многочисленные кристаллы слабо магнезиального Кц (см. рис. 6, б).

Анализ новообразований, возникших на поверхности образца, показал их весьма специфи-



Nº 1(45) ♦ 2021 -

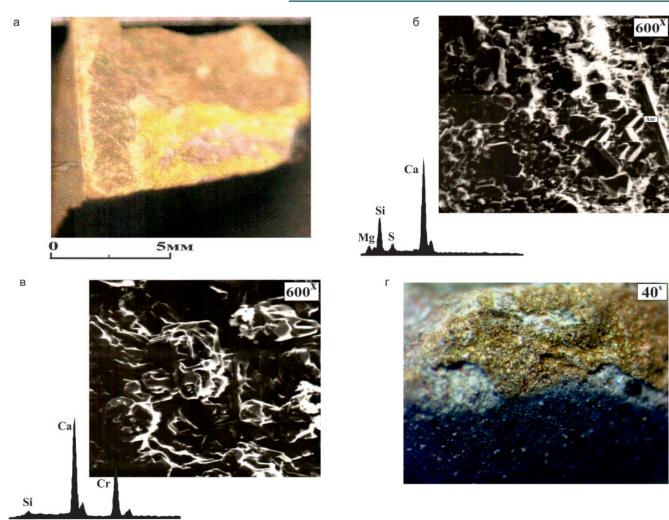


Рис. 6. Фотографии образца КИ (а) и его обломка (г), снимки РЭМ его поверхности (б, в) после воздействия на него ГФ (температура 295 °C, NaCl 36,8 г/л, CaCl, 3,1 г/л, H_2O_2 29 %)

а — внешний вид образца после завершения эксперимента; б — его выщелоченная окремненная поверхность, на которой отложились новообразованные минералы: справа длинный тонкий кристалл Анг и многочисленные кристаллы слабо магнезиального гидротермального Кц; в — многочисленные агрегаты кристаллов хроматита; г — обломок образца с корочкой золотисто-желтого цвета на поверхности, представленной хроматом никеля

ческий состав, обусловленный тем, что из-за отсутствия пиритового буфера, используемого для поддержания значений Eh вблизи нейтральных, таковым выступили элементы, слагающие корпус автоклава. Поэтому возникли своеобразные фазы, в состав которых вошли хром и никель, выщелоченные ГФ из тела автоклава.

Желтая со слабым зеленоватым оттенком матовая корочка оказалась сложенной кристаллами хроматита (см. рис. 6, в), волокнистые агрегаты золотисто-желтого цвета — чешуевидными новообразованиями хромата никеля, местами покрытые мелкими кристаллами Анг, а также тонкими пленочками Ам.кр, выделившегося из ГФ при его охлаждении в последнюю очередь (см. рис. 6, г).

По результатам анализа поверхностной части образца методом РСА, проведенного после эксперимента, можно заключить, что произошло слабое ее окремнение за счет преимущественного растворения Кц серной кислотой, образовавшейся вследствие окисления Пи. Из состава образца КИ полно-

стью исчез Дл, почти полностью Пи, появился Анг (см. таблицу).

Таким образом, в гидротермальных условиях с высокой величиной Еh наблюдается интенсивное окисление элементов (металлов), входящих в состав самого автоклава. Присутствовавший в КИ Пи окислился до Гем и серной кислоты, которая нейтрализовалась путем взаимодействия с Кц, результатом чего было образование Анг.

В рассматриваемых гидротермальных условиях осуществлялись вынос и переотложение биогенного кремнезема и Кц, что привело к формированию дополнительной вторичной емкости в исходном образце.

Серия с НСІ

Следующая серия экспериментов (температура 410 °С, продолжительность 30 сут) проводились с ГФ, в составе которого, помимо воды, присутствовала кислота (HCI) концентрацией от 0,05 до 1,0 N. Шихта пирита не добавлялась (см. таблицу).



В первом эксперименте этой серии опытов концентрация HCl в составе ГФ составляла 1,0 N. После эксперимента поверхность образца носила следы интенсивного выщелачивания и осветления, кроме того, на ней местами отложилась тонкая пленка бурого цвета, сложенная очень рыхлыми агрегатами хлорида железа (рис. 7, а).

Микроскопический анализ показал, что от выщелоченных с поверхности образца кристаллов Дл остались лишь их отрицательные формы в виде мелких ромбиков, а сама поверхность оказалась сложенной преимущественно Кв, т. е. произошло ее интенсивное окремнение (см. рис. 7, б). Отмечаются хорошо ограненные многочисленные мелкие блестящие кристаллики новообразованного гидротермального Сид, кристаллы которого имеют характерный ромбоэдрический габитус и размеры 25—100 мкм (см. рис. 7, в).

Сопоставление минерального состава образца до и после эксперимента с использованием метода РСА показало, что вследствие воздействия ГФ с его поверхности полностью исчезли Пи, Дл и Кц и образовались новые фазы — Сид, Кт, Ам.кр, в небольшом количестве — сульфид никеля (миллерит). Кроме того, установлено, что в составе осадка на дне реактора основными компонентами являются Ам.кр, хлорид железа (FeCl₂·nH₂O), хлорид каль-

ция ($CaCl_2 \cdot 4H_2O$) и небольшая примесь миллерита (см. таблицу).

В следующем эксперименте концентрация HCl в составе ГФ была 0,8 N.

После эксперимента поверхность образца носила следы явного выщелачивания, кроме того, на ней отложились тонкая корочка светло-бурого цвета, состоящая из мелкозернистых агрегатов, а также небольшие по площади рыхлые агрегаты темно-серого цвета, представленные гидротермальным Mg-Fe Xл и хлоридом кальция.

На участках, свободных от вторичных (гидротермальных) новообразований, хорошо видна морфология возникших вторичных пустот на интенсивно окремненной поверхности образца КИ, размеры которых варьируют в широких пределах — от 1,2—3,8 до 12,5—80 мкм (рис. 8, а). На других участках отмечается отложение Ам.кр или халцедона(?) в форме мелких сферолитов, отдельные сферы которого имеют размеры 5—35 мкм (см. рис. 8, б).

На окремненной поверхности отмечаются тонкие пленочки, сложенные очень мелкими (0,5—1,5 мкм) чешуевидными кристаллами гидротермального Mg-Fe Xл (см. рис. 8, в).

По данным РСА в составе осадка на дне автоклава встречены лишь две фазы – хлориды железа и кальция.

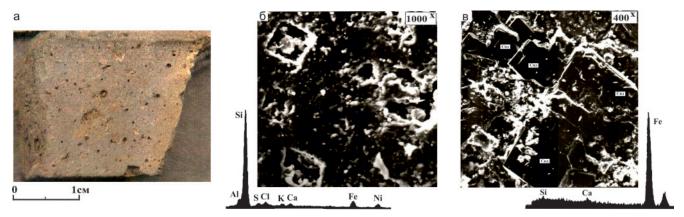


Рис. 7. Фотография образца КИ (а) и снимки РЭМ его поверхности (б, в) после воздействия на него ГФ (температура $410\,^{\circ}$ C, HCl $1,0\,$ N)

а — общий вид образца после завершения эксперимента; б — его окремненная поверхность с «отрицательными» формами от кристаллов выщелоченного Дл; в — мелкокристаллический агрегат гидротермального Сид и его элементный спектр

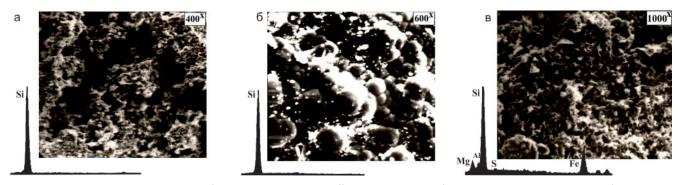


Рис. 8. Снимки РЭМ поверхности образца КИ после воздействия на него ГФ (температура 410 °C, HCl 0,8 N) а – интенсивно выщелоченный окремненный участок; б – корочка микрооолитового Ам.кр (закалочная фаза); в – выщелоченный, окремненный участок поверхности образца, покрытый микрочешуйчатым гидротермальным Mg-Fe Xл



В следующем опыте концентрация HCl составе ГФ составляла 0,4 N (см. таблицу).

Вследствие воздействия на поверхность образца ГФ, содержащего HCI, она подверглась выщелачиванию, главным образом за счет удаления карбонатного материала, следствием чего было ее окремнение. Микропоры, образовавшиеся за счет растворения карбонатов, часто имеют ромбическую форму, сохранившуюся от кристаллов Дл, присутствовавших здесь до гидротермального воздействия. Однако в отличие от предыдущих экспериментов поверхность образца сохранила темносерый цвет.

В образовавшихся порах и микрокавернах размерами от 1-2 до 130-150 мкм и на поверхности образца отмечаются агрегаты новообразованных фаз, представленных микроглобулярным Ам.кр или халцедоном(?), хлоридами кальция и железа, а также, вероятно, S° .

Сопоставление результатов РСА поверхности образца до и после гидротермального воздействия показало, что после эксперимента на ней образовались вторичные минеральные ассоциации, представленные в основном Ам.кр и железистым Хл, а в осадке присутствует практически один лишь хлорид кальция с небольшой примесью Ам.кр (см. таблицу).

В следующем опыте концентрация HCl в составе ГФ была 0,2 N (см. таблицу).

После эксперимента отмечалось интенсивное выщелачивание поверхности образца и образование на ней микропустот. Выщелоченная поверхность образца, судя по результатам ее элементного анализа, сложена Кв с небольшой примесью Ил и железистого Хл, а также, вероятно, Анг. Наиболее выщелоченные участки состоят только из кварца, причем рыхлые агрегаты в новообразованных порах и кавернах имеют тот же кремнистый состав (скорее всего, Ам.кр).

В порах отмечаются тонкие пленки, сложенные отдельными мелкими чешуйками, а также их агрегатами, имеющими часто сферическую форму, которые представляют собой гидротермальный железистый Хл. Кроме того (судя по результатам элементного анализа), присутствуют свободный кремнезем (вероятно, в аморфной форме), а также сульфиды никеля и меди (миллерит и халькозин).

По данным РСА после проведения эксперимента с поверхности образца исчез Дл, резко уменьшилось содержание Кц, но выросла концентрация Кв и Ам.кр, появились железистый Хл и хлорид кальция.

В следующем эксперименте концентрация HCl в составе ГФ была 0,1 N.

После проведения эксперимента, так же как и в предыдущих опытах, наблюдалось выщелачивание поверхности образца, а также образование на нем темно-серых и светло-бурых корочек, которые часто заполняют образовавшиеся пустоты (рис. 9, а).

По данным микроскопических исследований на поверхности образца после воздействия ГФ образовались вторичные поры и микрокаверны разных размеров — от 50 до 70 мкм (см. рис. 9, б). Вследствие интенсивного выщелачивания карбонатного материала с поверхности образца она приобрела практически чисто кремнистый состав с небольшой примесью Ил, а на ней отложились вторичные (гидротермальные) плоские кристаллы Анг и пленочный Мg-Fe Хл, отдельные чешуйки которого имеют размеры 1—3 мкм (см. рис. 9, в). При большом увеличении хорошо видны микропоры (от 1—2 до 10—15 мкм), образовавшиеся за счет выщелачивания карбонатов.

По данным РСА после воздействия на образец ГФ произошло интенсивное окремнение его поверхности за счет растворения кислым флюидом карбонатов. Отмечается полное выщелачивание Дл и достаточно интенсивное — Кц, а также Пи. На поверхности образовались новые минеральные фазы гидротермального происхождения — пленки и микросферолиты Ам.кр, кристаллы Анг и железистый и/или Mg-Fe Xл.

В осадке по данным РСА присутствует главным образом хлорид кальция (см. таблицу).

В последнем эксперименте концентрация HCl в составе ГФ была всего 0,05 N.

Вероятно, образец находился в двухфазной области. Нижняя его часть имеет слабый буроватый оттенок, а верхняя — темно-серый. Обе части выщелочены довольно слабо. Отмечаются тонкие пленки светло-зеленого цвета (окись хрома) и очень мелкие удлиненные плоские прозрачные кристаллы (Анг).

Анализ снимков РЭМ показал, что на поверхности образца отсутствуют крупные поры, основная масса пустот, возникших вследствие выщелачивания карбонатного материала ГФ, имеет размеры в среднем 2—6 мкм. Судя по элементному спектру с поверхности образца, она сложена преимущественно Кв с небольшой примесью Анг и Mg-Fe Xл.

При большом увеличении хорошо видны кристаллы Анг и войлокоподобные агрегаты Mg-Fe Xл (см. рис. 9, г). Судя по высокому пику кремния на элементном спектре, можно предположить, что войлокоподобная масса Xл лежит на окремненной поверхности образца и выделилась позднее, чем произошло ее окремнение.

По данным РСА после реакции КИ с ГФ с его поверхности полностью исчез Дл, почти полностью – Пи, резко уменьшилось содержание Кц, но увеличилось содержание Кв и Ам.кр, появился Анг, Mg-Fe Хл, в следовой концентрации фиксируется Ил (см. таблицу).

По результатам изучения методом РСА осадок на дне автоклава представлен в основном хлоридом кальция и небольшим количеством Ам.кр.

Серия с солями и СО,

В отличие от рассмотренных ранее экспериментов в последней серии опытов в составе ГФ при-



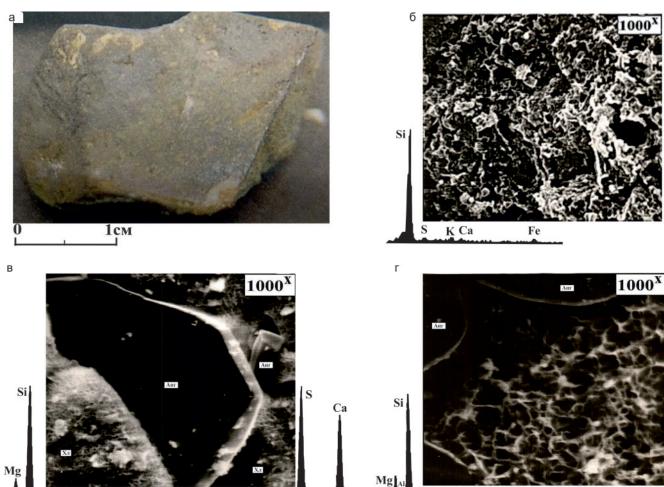


Рис. 9. Фотография образца КИ (а) и снимки РЭМ (б, в) его поверхности после воздействия ГФ (температура 410 °C, HCl 0,1 N), r – снимок РЭМ поверхности другого образца КИ после воздействия на него ГФ (температура 410 °C, HCl 0,05 N) а – общий вид образца после завершения эксперимента; б – интенсивно выщелоченный и окремненный участок его поверхности; в – кристаллы Анг и пленочный микрочешуйчатый Mg-Fe Xл гидротермального происхождения (его элементный спектр слева, спектр с кристалла Анг справа); r – участок поверхности другого образца с кристаллами Анг (слева и вверху) и микрочешуйчатым Mg-Fe Xл, с которого получен элементный спектр

сутствовало большое количество солей (хлоридов натрия и кальция). Значение минерализации ГФ, как уже упоминалось (из-за отсутствия данных о минерализации пластовых вод в гидротермальных силицитах), была выбрана по аналогии с таковой пластовых вод в базальных песчаниках Северо-Варьеганского месторождения — $36.8 \, \text{г/л} \, \text{NaCl} \, \text{и} \, 3.1 \, \text{г/л} \, \text{CaCl}_2$. Кроме того, в составе ГФ присутствовало $0.48 \, \text{г/л} \, \text{CO}_2$. Эксперименты проводились при температуре $400 \, ^{\circ}\text{C} \, \text{в} \, \text{течение} \, 10 \, \text{сут} \, \text{см. таблицу}$). Шихта пирита не добавлялась. Во всех опытах после вскрытия автоклава наблюдалось вскипание раствора и выделение газа.

Fe

Анализ результатов первого эксперимента показал, что после опыта отмечались осветление и следы выщелачивания поверхности образца КИ. Кроме того, на его поверхности образовались микрокристаллические агрегаты новых минеральных фаз гидротермального происхождения.

Сравнение результатов анализа РСА образца до и после эксперимента показало, что с его поверхности исчезли Кв и Ил, зато появился кислый

плагиоклаз, вероятно, Анк. Из новообразованных минералов можно отметить также кальциевый силикат типа волластонита (рис. 10, а) и натриево-кальциевый карбонат ($Na_2Ca(CO_3)_2$).

По данным РСА в составе осадка преобладают окислы меди и никеля (куприт, тенорит и бунзенит).

В следующем эксперименте после его завершения наблюдались слабое осветление и выщелачивание поверхности образца. Кроме того, на его поверхности, так же как и в предыдущем опыте, образовались микрокристаллические агрегаты новых минеральных фаз гидротермального происхождения.

Сравнение результатов анализа РСА образца до и после эксперимента показало, что доля Кв на его поверхности немного увеличилась, а Кц, напротив, уменьшилась. С поверхности образца исчезли Дл, Ил и Пи. Из новообразованных минералов можно отметить цеолиты и натриево-кальциевый карбонат (см. рис. 10, б, в).

По данным PCA а составе осадка отмечается большое количество новых минеральных фаз, из



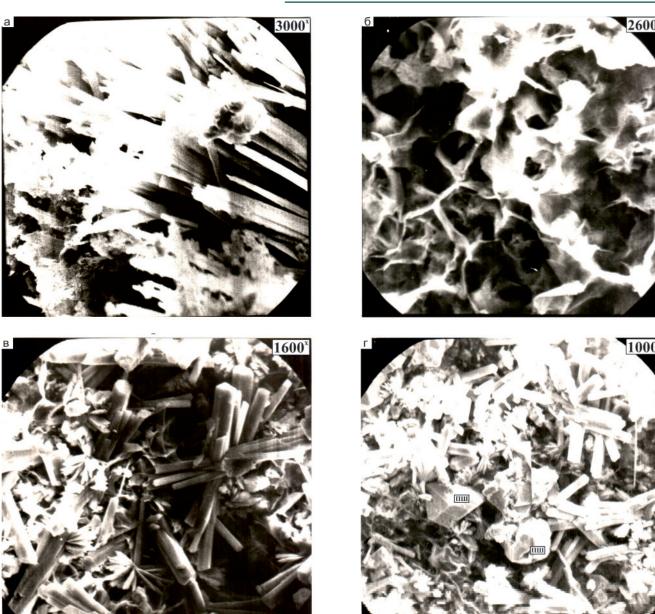


Рис. 10. Снимки РЭМ поверхности образцов КИ после воздействия на них ГФ (температура 400 °C, NaCl 36,8 г/л, $CaCl_2$ 3,1 г/л, CO_2O_1A8 г/л)

а – кристаллы гидротермального волластонита; б – пленки кальциево-натровых карбонатов; в – многочисленные агрегаты кристаллов цеолитов; г – кристаллы гидротермальных минералов, представленных кислыми плагиоклазами (ПШ) и цеолитами

которых более-менее уверенно удалось диагностировать двуокись меди (куприт), цеолиты и упомянутые кальциево-натровые карбонаты (см. таблицу).

После завершения следующего опыта также наблюдались осветление и выщелачивание поверхности образца, а на его поверхности образовались микрокристаллические агрегаты новых минеральных фаз гидротермального происхождения.

Сравнение результатов анализа РСА образца до и после эксперимента показало, что доля Кв на его поверхности уменьшилась, почти полностью исчезли Пи и Ил, полностью – Дл, зато появились кислый плагиоклаз и, вероятно, Анк. Таким образом, из новообразованных минералов на поверхности образца можно надежно выделить цеолиты и пла-

гиоклазы (см. рис. 10, г). В составе осадка, помимо неидентифицированных алюмосиликатов, присутствуют окислы меди (преобладают) и никеля.

Последний эксперимент этой серии проводился с образцом КИ, который частично был подвергнут гидротермальной проработке в природных условиях. После опыта наблюдалось слабое осветление и выщелачивание его поверхности. Кроме того, на ней, как и в предыдущих опытах, образовались микрокристаллические агрегаты новых минеральных фаз гидротермального происхождения.

Сравнение результатов анализа образца методом РСА до и после эксперимента показало, что доля Кв на его поверхности заметно увеличилась, а Кц — уменьшилась. Глинистые минералы отсут-



ствуют. Из новообразованных минералов можно отметить, волластонит, цеолиты и, вероятно, Na-Ca силикаты и карбонаты.

По данным РСА в составе осадка отмечаются куприт и хорошо окристаллизованные минеральные фазы, предположительно представленные цеолитами, а также силикатами и карбонатами натрия и кальция (см. таблицу).

Обсуждение результатов

Эксперименты, проведенные с участием $\rm H_2O_2$, продемонстрировали, что кислород, выделяющийся при ее разложении, очень активно реагирует не только с образцами КИ, но и с пиритовой шихтой, добавляемой в автоклавы в качестве буфера, и с металлами, входящими в состав реакторов. Несмотря на то что образование этих фаз вряд ли возможно в природных условиях (в гидротермальной системе с участием КИ), кратко рассмотрим условия их образования, которые могут заинтересовать геологов-рудников.

Так, в высокотемпературном эксперименте (390 °C) отмечается образование хромата никеля, хроматита и виллемсеита. Те же минеральные фазы (кроме виллемсеита) образовались и в более низкотемпературном (295 °C) эксперименте, проводившемся без добавления пиритовой шихты. Интересно, что в этих опытах среди новообразованных соединений отсутствуют сульфаты никеля и хрома, которые отмечаются в других низкотемпературных экспериментах с добавлением пиритовой шихты. Следовательно, высокая температура или отсутствие шихты Пи вызывают образование примерно одних и тех же минеральных ассоциаций, характеризующихся отсутствием сульфатов хрома и никеля и образованием вместо них хроматов никеля и кальция (хроматита).

В отличие от всех остальных опытов, в которых фиксировался рост концентрации кварца в приповерхностной части образцов, в высокотемпературном эксперименте отмечалось уменьшение содержания кварца на его поверхности. Это объясняется возникновением с его участием виллемсеита и алюмосиликатов кальция и магния, из-за образования которых отмечается уменьшение содержания Ил в составе образца после завершения эксперимента, поскольку алюминий в исходном образце входил преимущественно в состав Ил.

В эксперименте с отсутствием пиритовой шихты не обнаружена S°. Вероятно, в этом случае вся сера, которая высвобождалась при окислении Пи, входившего в состав исходного образца КИ, расходовалась на образование Анг.

Следует обратить внимание на следующее. Поскольку Анг возникает в результате взаимодействия Кц с серной кислотой, образующейся вследствие окисления Пи перекисью водорода, результатом этой реакции является образование угольной кислоты, которая частично диссоциирует на воду и CO_2 , поэтому в составе ГФ обязательно появляется углекислота, хотя CO_2 в него не добавлялась.

Интересно, что в составе осадка, образовывавшегося в экспериментах с H_2O_2 , отсутствует Кв. Такой феномен объясняется очень слабой растворимостью Кв в кислых ГФ (за счет образования серной кислоты вследствие окисления Пи перекисью водорода), поэтому из-за преимущественного растворения Кц наблюдается окремнение поверхности образцов.

Общим для всех выполненных экспериментов с участием H_2O_2 является появление в качестве новообразованных (гидротермальных) фаз Анг, Гем, Ам.кр и S° (S° не была встречена лишь в опыте при отсутствии шихты Пи).

В результате взаимодействия ГФ, в составе которого была H_2O_2 , с образцами КИ, участвовавшими в экспериментах, формировалась вторичная пористость за счет растворения Дл, Пи, Кц и в меньшей мере биогенного кремнезема, что и привело к формированию в них дополнительной вторичной емкости.

Так как в составе ГС не встречены Гем и S° , можно заключить, что в составе природных ГФ не содержалось таких высоких концентраций O_2 , как в экспериментах, хотя Анг в небольших количествах все же в ГС присутствует [4, 6].

Как и следовало ожидать, наиболее интенсивное формирование вторичной пористости наблюдалось в высокотемпературных экспериментах с различной концентрацией в составе ГФ HCl, которая активно реагировала с КИ с образованием угольной кислоты, частично разлагавшейся на воду и CO_2 . Поэтому, несмотря на то что в составе исходного ГФ CO_2 отсутствовала, она обязательно появлялась в результате реакции кислоты с карбонатами.

Следует обратить внимание, что в эксперименте с самой высокой концентрацией HCl (1 N) отмечалась новообразованная минеральная ассоциация, отличная от других экспериментов с более низкой концентрацией HCl, представленная Сид и Кт.

В остальных экспериментах с более низкой концентрацией кислоты возникала совершенно другая гидротермальная ассоциация минералов (железистый и Mg-Fe Xл). В опытах, проводившихся в системе H₂O−CO₂, граница перехода Xл ↔ Сид+Кт отмечается при более низкой температуре (315–360 °C) [3]. Следовательно, в ультракислых гидротермальных условиях ассоциация Сид+Кт сохраняет устойчивость, по крайней мере до температуры 410 °C (см. таблицу).

Поскольку в ГС вторичный (гидротермальный) Хл отсутствует, а Сид и Кт, напротив, встречаются, то можно заключить, что природный ГФ, скорее всего, обладал ультракислыми свойствами.

Если в опытах с концентрацией HCl в составе ГФ от 1 N до 0,4 N в составе осадка отмечены хлориды и кальция, и железа, то при более низких концентрациях встречается только хлорид кальция. Кроме того, при самых низких содержаниях HCl (0,05–0,1 N) среди новообразованных минеральных фаз появ-



лялся Анг. Следовательно, можно предположить, что Анг в составе ГС возникал на заключительном этапе гидротермальной проработки КИ кислым ГФ, когда его рН повышался с ультракислых до кислых, возможно, и нормальных значений. Именно Анг включал в свой состав серу, высвобождающуюся при разложении пирита.

Поскольку при реакции HCl с карбонатами обязательно образуется CO₂, которая, как было показано в [3], при температурах примерно 295 °C и выше начинает проявлять свойства окислителя, то следовало бы ожидать появления в рассматриваемой серии опытов окислов меди, никеля и хрома. Однако вместо них в составе осадка отмечаются сульфиды меди и никеля (см. таблицу). Лишь в эксперименте с самой низкой концентрацией HCl (0,05 N) появляется окись хрома и отсутствуют сульфиды меди и никеля. Из этого следует, что в сильно кислой среде окислительные свойства CO₂ подавляются.

Во всех проведенных экспериментах с кислотой наблюдалось полное растворение Дл, в значительной степени – Кц, а также разложение Пи. В результате этих процессов на поверхности образцов отмечалось образование вторичной пористости и ее практически полное окремнение. Размер пор имел очень широкий диапазон – от первых мкм до десятых долей мм, причем первые значительно преобладали над последними. Из этого можно заключить, что в формирующихся вторичных коллекторах (ГС) будет содержаться большое количество остаточной воды, а значит, содержание УВ в них будет не очень высоким. Иначе говоря, формирующиеся в КИ гидротермальные силициты будут характеризоваться невысокой нефте- и газонасыщенностью, что подтверждается фактическими данными определения их коллекторских свойств [4].

Анализ результатов экспериментов, проведенных с высокотемпературным (400 °C) ГФ, содержавшим в своем составе соли (NaCl и CaCl $_2$) и небольшое количество CO $_2$, позволил установить следующие самые общие закономерности.

В результате взаимодействия солесодержащего ГФ, в составе которого также присутствовала CO_2 , с образцами КИ произошло полное растворение Дл, частичное — Кв, Кц, Пи и Ил, и в результате сформировалась небольшая по величине вторичная пористость.

Возникли следующие гидротермальные минералы: кислый плагиоклаз, силикат кальция, волластонит, цеолиты, натриево-кальциевые карбонаты, Анк, а также окислы меди и никеля (куприт, тенорит и бунзенит).

Появление последних в составе образовавшихся фаз предполагает наличие у ${\sf CO}_2$ в высокотемпературных условиях окислительных свойств:

$$Ni^{0} + 2Cu^{0} + 2CO_{2} = NiO + Cu_{2}O + 2CO,$$

 $Cu_{2}O + CO_{2} = 2CuO + CO.$

Следовательно, в результате протекания этих реакций происходит образование большого количества

СО, что подтверждается хроматографическим анализом газовой фазы, образовавшейся в этих опытах [3].

В ГС не встречены новообразованные минеральные фазы (цеолиты, плагиоклазы, волластонит, Na-Ca карбонаты), из чего можно заключить, что состав природных ГФ характеризуется очень низкой концентрацией солей. Поэтому приравнивать минерализацию современных пластовых вод в базальных юрских песчаниках к таковой ГФ, внедрявшихся в КИ с формированием ГС, категорически нельзя. Эти ГФ, скорее всего, обладали очень низкой минерализацией [7–9].

Следует отметить, что в более низкотемпературных условиях (295 °C) в присутствии в составе ГФ тех же солей и отсутствии CO_2 , описанной минеральной ассоциации не возникло, как, впрочем, не было и других значимых изменений исходного образца КИ. Неожиданно также и то, что цеолиты, которые считаются довольно низкотемпературными минералами, в наших экспериментах формировались при высоких температурах (410 °C).

Во всех проведенных экспериментах Пи оказался неустойчивым и разлагался, превращаясь (в зависимости от температуры и состава ГФ) или в Гем, или в железосодержащие карбонаты, или, наконец, в Хл. Сера, освобождавшаяся при его разложении (не считая реакций с металлами в составе автоклава), шла на образование Анг, либо выделялась в форме S° или в виде различных соединений, например H_2S и/или COS, входила в состав ГФ.

В соответствии с полученными результатами моделирования, можно с большой долей уверенности утверждать, что природные ГФ, воздействовавшие на КИ с образованием по ним ГС, характеризовались следующими свойствами:

- они содержали в составе низкие концентрации кислорода;
- в случае отсутствия в составе ГФ кислых компонентов их температура не превышала 360 °C;
- в случае присутствия большого количества кислых компонентов (HCl, HF и т. п.), т. е. ГФ были ультракислыми (что более вероятно), их температура могла достигать 400 °C и выше;
- они являлись слабоминерализованными с низким содержанием солей, так как в ГС не встречены новообразованные (гидротермальные) цеолиты, плагиоклазы, силикаты и алюмосиликаты, а также карбонаты Са и Na;
- максимальное значение вторичной пористости и степень окремнения КИ наблюдаются при воздействии на них кислых ГФ; наиболее вероятно, что природные ГФ имели кислый или даже очень кислый состав;
- на кислый состав природных ГФ указывает также слабая растворимость кварца в таких кислых флюидах и, напротив, высокая растворимость Кц и Дл, которые полностью отсутствуют в ГС;
- самыми устойчивыми минералами по отношению к кислым ГФ в составе КИ являются Кв и Ил,



все остальные минералы (Кц, Дл, Пи, Хл, полевые шпаты) ими растворяются, в результате чего формируется вторичная пористость (25–30 % и даже более) [4];

– новообразованными минералами в составе ГС, имеющими гидротермальное происхождение, являются микрокристаллический Кв, Сид, Кт и Анг.

Следует обратить внимание на следующий факт, подтвержденный экспериментально: при высоких температурах (400 °C) CO_2 проявляет свойства окислителя по отношению к металлам, превращаясь в CO, однако в кислых $\Gamma\Phi$ ее окислительные свойства подавляются.

Слабое осветление поверхности КИ отмечается в подавляющем большинстве проведенных экспериментов. Однако лишь в опытах с H_2O_2 наблюдается наиболее интенсивное обеление поверхности образцов КИ, поэтому можно допустить, что в составе природных ГФ все же присутствует небольшое количество O_2 и/или по мере нейтрализации (увеличения рН) ГФ CO_2 вновь приобретает свойства окислителя.

При воздействии на КИ кислых или ультракислых ГФ, которые отделяются от магматических тел кристаллизующихся долеритов, внедрившихся в них (как на Северо-Варьеганском и Ханты-Мансийском месторождениях), образуется большое количество углекислоты и катионов Ca²⁺ и Mg²⁺, активно взаимодействуюющих с этими телами долеритов, вызывая их интенсивную карбонатизацию [4]. Другая часть образовавшихся при разложении КИ летучих по зонам дробления поднимается вверх, образуя ареолы вторичной карбонатизации в нижнеюрских отложениях. Поэтому обширные зоны вторичной карбонатизации в базальных юрских отложениях, под которыми залегают палеозойские КИ, особенно широко развитые в пределах поднятий, могут свидетельствовать о том, что под ними находятся ГС, содержащие УВ залежи.

По результатам опытов, можно назвать и второй важный признак возможного присутствия в кровле ДК вторичных коллекторов типа ГС (и не только их), имеющих тектоно-гидротермальное происхождение, — это наличие гидрохимической аномалии.

Но наиболее важным является третий признак ГС, позволяющий диагностировать их в разрезе доюрского комплекса, — их высокая пористость и, соответственно, очень низкая плотность. Благодаря этому они легко выделяются при сейсморазведочных работах по повышенной «временной» мощности, которая обусловлена резким снижением скорости распространения сейсмических волн в ГС по сравнению с окружающими их очень плотными, а значит и «высокоскоростными», КИ [2, 3].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. **Бгатов В. И.** История кислорода земной атмосферы. М.: Недра. 1985. 88 с.
- 2. **Зубков М. Ю.** Вторичные коллекторы тектоно-гидротермального происхождения в кровельной части доюрского комплекса Западно-Сибирской

- плиты и способы их прогноза // Геология нефти и газа. 2015. № 6. С. 78–95.
- 3. **Зубков М. Ю.** Гидротермальное моделирование формирования вторичных коллекторов в кремнистых известняках (система H_2O-CO_2) // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. 2020. N_2 3. С. 43—58.
- 4. Зубков М. Ю. Гидротермальные силициты перспективный нефтегазопоисковый объект доюрского фундамента Западно-Сибирской плиты // Геология и нефтегазоносность нижних горизонтов чехла Западно-Сибирской плиты. Новосибирск: СНИИГГиМС, 1990. С. 87—101.
- 5. **Зубков М. Ю., Федорова Т. А.** Гидротермальные вторичные коллекторы в черных сланцах // Геология нефти и газа. 1989. № 6. С. 71—79.
- 6. Зубков М. Ю., Шведенков Г. Ю. Экспериментальное моделирование процесса формирования вторичных коллекторов под действием гидротермальных флюидов различного состава // Пути реализации нефтегазового потенциала ХМАО: Пятая науч.-практ. конф. В 2 т. Т 1. –Ханты-Мансийск, 2002. С. 323–332.
- 7. **Мархинин Е. К.** Вулканы и жизнь. М.: Мысль, 1980. 198 с.
- 8. **Набоко С. И.** Формирование современных гидротерм и метаморфизм растворов и пород // Вопросы вулканизма. М.: Изд-во АН СССР, 1962. С. 52—62.
- 9. **Соколов В. А.** Геохимия природных газов. М.: Недра, 1971. 336 с..
- 10. Справочник физических констант горных пород / под ред. С. Кларка-мл. М.: Мир, 1969. 544 с.
- 11. Zubkov M. Yu., Shvedenkov G. Yu., Savinov A. V. The role of hydrothermal solutions in the alteration of organic matter and formation of reservoir rocks // Abstracts. Second International Simposium «Thermodynamics of natural processes» and Russian Symposium «Thermodynamics in geology». Novosibirsk, 1992. P. 148.

REFERENCES

- 1. Bgatov V.I. *Istoriya kisloroda zemnoy atmosfery* [History of oxygen in the Earth's atmosphere]. Moscow, Nedra Publ., 1985. 88 p. (In Russ.).
- 2. Zubkov M.Yu. [Secondary reservoirs of tectonic-hydrothermal origin in the roof of the pre-Jurrasic complex in the West-Siberian plate and its forecast methods]. *Geologiya nefti i gaza Russian Oil and Gas Geology*, 2015, no. 6, pp. 78–95. (In Russ.).
- 3. Zubkov M.Yu. [Hydrothermal modelling of formation of secondary reservoirs in siliceous limestones (H₂O-CO₂ System)]. *Geologiya i mineralno-syryevyye resursy Sibiri Geology and mineral resources of Siberia*, 2020, no. 3, pp. 43–58. (In Russ.).
- 4. Zubkov M.Yu. [Hydrothermal silicites as a promising exploration target of the pre-Jurassic basement of the West-Siberian Plate]. Geologiya i neftegazonosnost nizhnikh gorizontov chekhla Zapadno-



- Sibirskoy plity [Geology and petroleum potential of the lower horizons of the West Siberian plate cover]. Novosibirsk, SNIIGGiMS Publ., 1990, pp. 87–101. (In Russ.).
- 5. Zubkov M.Yu., Fedorova T.A. [Hydrothermal secondary reservoir capacity in black shales]. *Geologiya nefti i gaza Russian Oil and Gas Geology,* 1989, no. 6, pp. 71–79 (In Russ.).
- 6. Zubkov M.Yu., Shvedenkov G.Yu. [Experimental modeling of the formation of secondary reservoirs under the influence of hydrothermal fluids of various composition]. *Puti realizatsii neftegazovogo potentsiala KhMAO* [Ways of realizing the oil and gas potential of the Khanty-Mansi Autonomous Okrug]. Khanty-Mansiysk, 2002, pp. 323–332. (In Russ.).
- 7. Markhinin E.K. *Vulkany i zhizn* [Volcanoes and the life]. Moscow, Mysl Publ. 198 p. (In Russ.).

- 8. Naboko S.I. [Formation of modern hydrotherms and metamorphism of solutions and rocks]. *Voprosy vulkanizma* [Studies of volcanism]. Moscow, AS USSR Publ., 1962, pp. 52–62. (In Russ.).
- 9. Sokolov V.A. *Geokhimiya prirodnykh gazov* [Geochemistry of natural gases]. Moscow, Nedra Publ., 1971. 336 p. (In Russ.).
- 10. Klark C., ed. *Spravochnik fizicheskikh konstant gornykh porod* [Handbook of physical constants]. Moscow, Mir Publ., 1971. 336 p. (In Russ.).
- 11. Zubkov M.Yu., Shvedenkov G.Yu., Savinov A.V. The role of hydrothermal solutions in the alteration of organic matter and formation of reservoir rocks. *Abstracts. Second International Simposium «Thermodynamics of natural processes» and Russian Symposium «Thermodynamics in geology»*, 13–20 September 1992. Novosibirsk, Russia, p. 148.

© М. Ю. Зубков, 2021



ЭВОЛЮЦИЯ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ О СТРОЕНИИ ЛОВУШЕК НЕФТИ И ГАЗА ПРИ ИЗУЧЕНИИ НЕФТЕГАЗОНОСНЫХ НЕДР НА ТЕРРИТОРИИ ЗАПАДНОЙ ЯКУТИИ

В.С.Ситников, Р.Ф.Севостьянова, К.А.Павлова

Институт проблем нефти и газа Якутского научного центра СО РАН, Якутск, Россия

Представлена история развития нефтегазовой отрасли в Республике Саха (Якутия). Показано, что при первых сейсморазведочных работах поиски месторождений осуществлялись исключительно в нижнем течении р. Вилюй. Это позволило выявить в мезозойских отложениях востока Вилюйской синеклизы крупный Хапчагайский газоносный район и открыть целый ряд газовых месторождений. Ловушками на них являются типичные платформенные структуры — брахиантиклинали с углами падения пород первые градусы, без каких-либо следов разрывных тектонических нарушений. Последние прогнозируются здесь ниже по разрезу начиная с кровли перми. Рассмотрены научные представления о ловушках нефти и газа, обнаруженных в разные годы в Западной Якутии в процессе геолого-разведочных работ с периода создания в республике нефтегазовой геофизической службы (1950 г.) и по настоящее время. Показана эволюция представлений о строении ловушек нефти и газа на примере Среднеботуобинского и Верхневилючанского месторождений в процессе геолого-разведочных работ за счет более полного учета разрывных нарушений и их роли в строении ловушек.

Ключевые слова: нефть, газ, ловушка, залежь, месторождение, структура, Западная Якутия, Сибирская платформа.

EVOLUTION OF CONCEPTS ABOUT THE STRUCTURE OF OIL AND GAS TRAPS IN THE STUDY OF PETROLEUM BEARING SUBSURFACE RESOURCES IN WESTERN YAKUTIA

V. S. Sitnikov, R. F. Sevostyanova, K. A. Pavlova

Institute of Oil and Gas Problems of Yakutsk Scientific Center, SB RAS, Yakutsk, Russia

The article presents the development history of the oil and gas industry in the Republic of Sakha (Yakutia). It is shown that during the first seismic exploration, prospecting for fields was carried out exclusively in the lower reaches of the Vilyui River. These works made it possible to identify the large Khapchagai gas region in Mesozoic deposits in the eastern Vilyui syneclise and discover a number of gas fields. Traps on them are typical platform structures - brachyanticlines with first degrees of dips, without any traces of disjunctive tectonic dislocations. The latter are predicted here lower in the section, starting from the Permian top. Scientific concepts of oil and gas traps revealed in various years in Western Yakutia in the course of geological exploration, from the period of inition of the oil and gas geophysical service in the republic (1950) to the present, are considered. The evolution of concepts of the oil and gas trap structure is shown, using the example of Srednebotuobinskoye and Verkhnevilyuchanskoye fields. This evolution was carried out in the process of geological exploration due to a more complete record-keeping of disjunctive disllocations and their role in the structure of traps.

Keywords: oil, gas, trap, accumulation, field, structure, Western Yakutia, Siberian Platform.

DOI 10.20403/2078-0575-2021-1-49-55

Первое в Якутии Усть-Вилюйское газовое месторождение было открыто в 1956 г. в зоне сочленения центрального сектора Предверхоянского прогиба с восточной зоной Вилюйской синеклизы. Месторождение расположено на Тас-Тумусской площади в устье р. Вилюй, левого притока одной из крупнейших в мире р. Лена. Ловушкой для залежей нефти и газа здесь является небольшая антиклинальная складка (5×3 км), осложняющая центральную, наиболее приподнятую часть аллохтонной пластины, надвинутой в западном направлении.

Этому открытию предшествовали достаточно крупные по объему многолетние (1930–1950 гг.) геолого-разведочные работы на нефть и газ в среднем течении р. Лена. Одной из основных причин длительного отсутствия положительных результатов можно считать проведение указанных исследований при

отсутствии нефтегазовой сейсморазведки, которая обычно выполняется перед глубоким поисковым бурением на перспективных площадях. Долгие годы бурение проводилось здесь практически без уточнений особенностей глубинного строения перспективных территорий, а также без достаточно достоверных представлений о возможных ловушках нефти и газа.

Решению этой проблемы в значительной степени способствовал перевод в 1950 г. в Якутию из Ленинградской области двух сейсморазведочных партий и создание на их основе Якутской комплексной геофизической экспедиции. После этих событий на востоке Вилюйской синеклизы началось планомерное изучение сейсморазведкой МОВ территорий, перспективных на нефть и газ.

В 1960-х гг. начались сейсморазведочные работы в Нюйско-Джербинской впадине, западной вет-



ви Предпатомского прогиба. По геолого-съемочным данным здесь выделены и изучены многие десятки локальных антиклинальных структур. На одной из них (Маар-Юряхской складке) в 1967 г. была пробурена первая в этом регионе Мурбайская параметрическая скважина. До проектного горизонта на уровне поверхности кристаллического фундамента скважина не была доведена в связи со многими авариями и осложнениями, в процессе борьбы с которыми были забурены четыре боковых ствола. В последний период бурения было практически неизвестно, в каком из них ведутся работы. После очередной аварии работы были прекращены при положении забоя на глубине примерно 2 км в карбонатных отложениях кембрийского возраста. В верхней части разреза данные бурения в целом не противоречат материалам геологической съемки о наличии в недрах антиклинальной структуры. Однако вскрытие скважиной многочисленных разрывных нарушений и связанные с ними поглощения промывочной жидкости свидетельствуют о сложном строении недр и возможном наличии здесь нового структурного плана на более значительных глубинах, отличающегося от приповерхностной геологии по характеру дислокаций и типу ловушек [1, 3].

ВК Αн Кр Пв A2 Сг Вл А3 ΗБ VIII Влч Αл A6 Пп 300 км км 100 50 0 100 200 П 27 Eng 27 5

В 1969 г. была заложена вторая параметрическая скважина на северном склоне (в периклинальной части) Среднеботуобинской брахиантиклинали, которая была тогда выделена в этом районе по итогам сейсморазведки МОВ. При опробовании открытого ствола скважины после многих спусков испытателя пластов и получения из различных интервалов разреза притоков пластовой воды с растворенным газам наконец было установлено точное положение продуктивного горизонта в ее разрезе. После очередного внепланового спуска испытателя пластов был зафиксирован приток сухого газа дебитом свыше 300 тыс. м³.

В начале 1970-х гг. в непосредственной близости от Среднеботуобинского газового месторождения, открытого на юго-западе Якутии, по сейсморазведочным данным были выделены другие антиклинальные структуры разных размеров (Тас-Юряхская, Верхневилючанская и др.).

Нефтегазоразведчики республики в официальных отчетах, опубликованных статьях и средствах массовой информации рапортовали об открытии в Восточной Сибири нового Ботуобинского нефтегазоносного района. В 1975 г. в научной работе А. Э. Конторовича, Н. В. Мельникова и В. С. Старо-

Рис. 1. Обзорная схема Юго-Западной Якутии (сост. В. С. Ситниковым, А. Ф. Сафроновым, С. Ю. Севостьяновым, К. И. Микуленко с использованием материалов СНИИГГиМС, ИПНГ СО РАН, ННГК «Саханефтегаз», ОАО «Якутскгеофизика»)

Границы: 1 - надпорядковых тектонических элементов (антеклиз, синеклиз, прогибов, горноскладчатых областей), 2 - структур первого порядка, 3 – нефтегазоносных провинций (А – Лено-Тунгусской, Б – Хатангско-Вилюйской), 4 – нефтегазоносных областей (НГО); 5 - месторождения нефти и газа; 6 – магистральный нефтепровод ВСТО; 7 – магистральный газопровод «Сила Сибири»; 8 - граница Республики Саха (Якутия); тектонические элементы: НБ - Непско-Ботуобинская антеклиза, Вл – Вилюйская синеклиза, Ан – Анабарская антеклиза, Кр – Курейская синеклиза, ПП – Предпатомский прогиб, Сг – Сюгджерская седловина, Влч – Вилючанская седловина, П – Патомская и ВК – Верхояно-Колымская горно-складчатые области; структуры первого порядка: І – Логлорский вал, II – Линденская впадина, III – Хапчагайский мегавал, IV - Тангнарынская впадина, V - Лунгхинско-Келинская впадина, VI - Ыгыаттинская впадина, VII - Сунтарский свод, VIII - Кемпендяйская впадина, ІХ – Арбайско-Синский мегавал, Х – Сарсанский прогиб; XI – Мирнинский выступ, XII – Непско-Пеле-

дуйский свод; нефтегазоносные области: A1 — Анабарская, A2 — Катангская, A3 — Западно-Вилюйская, A4 — Непско-Ботуобинская, A5 — Предпатомская, A6 — Северо-Алданская, Б1 — Предверхоянская, Б2 — Вилюйская; месторождения нефти и газа: 1 — Андылахское ГК, 2 — Среднетюнгское ГК, 3 — Нижнетюнгское ГК, 4 — Средневилюйское ГК, 5 — Толонское ГК, 6 — Мастахское ГК, 7 — Соболох-Неджелинское ГК, 8 — Бадаранское ГК, 9 — Нижневилюйское Г, 10 — Усть-Вилюйское ГК, 11 — Пеледуйское ГК, 12 — Алинское НГК, 13 — Восточно-Алинское НГК, 14 — Талаканское НГК, 15 — Южно-Талаканское НГК, 16 — Северо-Талаканское ГК, 16а — Ленское НГК, 17 — Восточно-Талаканское, 18 — Верхнепеледуйское НГК, 19 — Тымпучиканское НГК, 20 — Чаяндинское НГК, 21 — Бюкское ГК, 22 — Илгычахское ГК, 23 — Среднеботуобинское НГК, 24 — Тас-Юряхское НГК, 25 — Бес-Юряхское Г, 26 — Иктехское НГК, 27 — Верхневилючанское НГК, 28 — Вилюйско-Джербинское Г, 29 — Хотого-Мурбайское Г, 30 — Отраднинское ГК, 31 — Маччобинское НГК, 32 — Иреляхское ГК Северо-Нелбинское ГК, 34 — Станахское НГ, 35 — Нелбинское НГК, 36 — Мирнинское НГ, 37 — Бысахтахское ГК



сельцева впервые была обоснована и выделена новая Непско-Ботуобинская антеклиза и одноименная нефтегазоносная область [5].

Обширную сводовую часть указанной антеклизы осложняют крупные структуры первого порядка — Мирнинский выступ и Непско-Пеледуйский мегасвод. Потенциальные антиклинальные ловушки (Среднеботуобинская и др.) расположены в основном в пределах Мирнинского выступа и вблизи от него (рис. 1).

Эволюция представлений о ловушках нефти и газа

Непско-Ботуобинская антеклиза с установленной промышленной нефтегазоносностью расположена на юго-западе республики, где давно выделялась обширная область сочленения Сибирской платформы с Предбайкальским (ныне Предпатомским) прогибом и далее к востоку с Патомской горно-складчатой системой (см. рис. 1).

Здесь по аналогии с Вилюйской НГО при изучении указанных структур в первые годы рассматривался лишь пликативный вариант изучаемых дислокаций положительной формы (антиклинали); возможные разрывы, как правило, не выделялись и не изучались. Априорно, но с учетом методических требований и указаний, принятых ранее во всероссийской практике геолого-разведочных работ на нефть и газ, считалось, что в платформенных условиях, когда углы наклона пластов пород в пределах рассматриваемых ловушек не превышают первых градусов, разрывных нарушений в принципе не может быть никогда. В действительности реальное распределение тектонических напряжений и деформаций в недрах в условиях древних толщ оказалось иным и гораздо более сложным, чем в слабо уплотненных мезозойских отложениях Вилюйской синеклизы.

В начальный период изучения Среднеботуобинского нефтегазоконденсатного месторождения глубоким бурением какие-либо разрывные нарушения на дежурных структурных картах, намеченных ранее по данным сейсморазведки МОВ, отсутствовали. После бурения небольшого количества поисковых скважин был произведен оперативный подсчет запасов газа при сугубо пликативном варианте строения залежей, где рассматривались две газовые залежи — в кровле вендского терригенного комплекса (ботуобинский горизонт) и в карбонатных отложениях раннего кембрия (осинский горизонт). Суммарные запасы газа категории C_2 по двум залежам Среднеботуобинского месторождения превысили 1 трлн м³.

По мере бурения новых скважин эти оценки были уточнены. Запасы газа, оперативно учтенные для осинской залежи в 1970-х гг., в процессе дальнейшей разведки были исключены из Государственного баланса запасов полезных ископаемых Российской Федерации в связи с исключительно высокой сложностью строения, обусловленной наличием на гипсометрическом уровне залежи крупного магма-

тического тела трапповой формации и многочисленных разрывных тектонических нарушений.

На структурных картах и подсчетных планах Среднеботуобинского месторождения разрывы на уровне ботуобинского продуктивного горизонта стали выделять несколько позже, по мере сгущения сети поисково-разведочных скважин. При установлении в соседних скважинах, незначительно удаленных друг от друга, существенного различия в глубинах залегания ботуобинских коллекторов (до 20 м), необходимость учета влияния разрывных тектонических нарушений на строение газовой залежи с крупной нефтяной оторочкой стало очевидной. В 1980 г. (к времени защиты запасов газа в ГКЗ в ботуобинской залежи Среднеботуобинского НГКМ) они составили по категории С₁ менее 200 млрд м³. Было установлено блоковое строение газовой залежи и подстилающей ее крупной нефтяной оторочки, разделенных многими тектоническими разрывами. Отдельные фрагменты структуры, особенно на ее восточном склоне, соответствуют понятию «битая тарелка», широко известному в мировой практике работ на нефть и газ (рис. 2) [2].

Интенсивной раздробленности различных интервалов разреза на юго-западе Якутии, наряду с тектоническим фактором, в значительной мере способствовал литолого-стратиграфический состав осадочного чехла. По результатам многолетних работ на нефть и газ на этой территории четко фиксируется многоярусное строение осадочного чехла, состоящее в основном из терригенно-карбонатных отложений венда и чередующихся карбонатно-галогенных толщ кембрия. Мощность солей в разрезе венда достигает 150 м, кембрия – 800 м и более. После крупнейшего стратиграфического перерыва (с ордовика по триас включительно) выше по разрезу залегают песчано-глинистые отложения нижней юры (100-200 м). В районах вблизи р. Лена и далее к юго-востоку, в пределах зоны сочленения Сибирской платформы и Патомской горно-складчатой системы в низах осадочного разреза присутствуют мощные рифейские отложения, имеющие в основном карбонатный состав и содержащие маломощные терригенные прослои. Последние играют роль базальных горизонтов, залегающих в основании крупных седиментационных циклов. Общая мощность осадочного чехла резко увеличивается в восточном направлении в сторону Патомского нагорья.

До середины 1980-х гг. преобладали научные представления об унаследованном субпараллельном соотношении структурных планов по всему разрезу, т. е. от подошвы осадочного чехла до дневной поверхности включительно. Исходя из таких преставлений чаще всего выбирался один целевой горизонт, по другим отражения фиксировались лишь частично. В итоге при разработке модели ловушки, контролирующей прогнозируемое месторождение нефти и (или) газа, при отсутствии данных бурения и возможности в полной мере использовать их



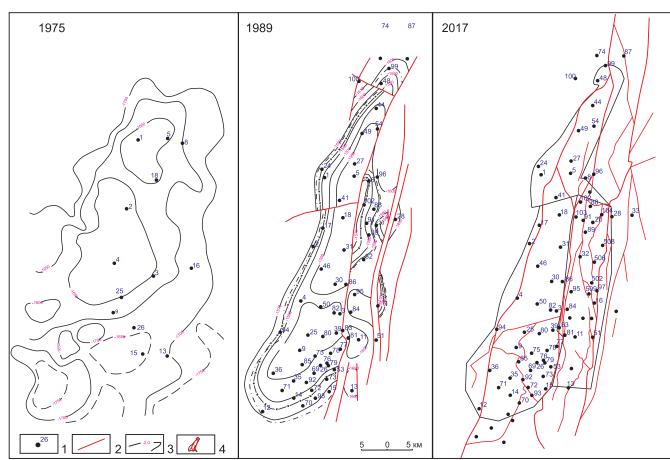


Рис. 2. Эволюция представлений о строении ловушек нефти и газа на Среднеботуобинском нефтегазоконденсатном месторождении

1 – глубокие скважины, пробуренные в разные годы изучения Среднеботуобинского НГКМ; 2 – разрывные тектонические нарушения по состоянию на разные годы изучения; 3 – изогипсы отражающего сейсмического горизонта КВ (1975 г.); 4 – границы блоков в строении залежей Среднеботуобинского НГКМ (2017 г.)

в комплексе с материалами сейсморазведки анализ последних осуществлялся сугубо предварительно и лишь по одному или двум стратиграфическим уровням или интервалам. Другие части разреза оставались неизученными.

Ситуация на месторождениях изменялась и существенно уточнялась по мере бурения новых глубоких скважин. В качестве примера можно привести историю открытия и изучения антиклинальной ловушки, контролирующей Верхневилючанское нефтегазоконденсатное месторождение и все залежи в его составе.

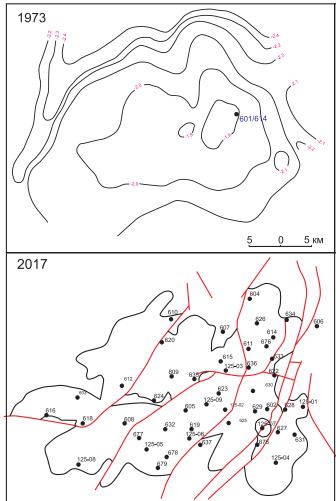
В тектоническом отношении указанная антиклинальная складка находится в пределах Вилючанской седловины, разделяющей Непско-Ботуобинскую антеклизу и Вилюйскую синеклизу [4]. На схемах нефтегазогеологического районирования ловушка расположена в краевой восточной части Непско-Ботуобинской нефтегазоносной области (см. рис. 2); в начале 1970-х гг. она была включена в фонд структур, выявленных сейсморазведкой на рассматриваемой территории. Судя по площади, установленной в рамках последней замкнутой изогипсы (свыше 2 тыс. км²), по состоянию фонда выявленных структур на 01.01.1973 г. эта складка была самой крупной перспективной ловушкой, способ-

ной контролировать крупнейшее месторождение углеводородного сырья (рис. 3).

Первая поисковая скв. 601, заложенная в северо-восточной присводовой части Верхневилючанской структуры, оказалась в итоге аварийной. Проходка была прекращена после вскрытия верхней части разреза и интенсивного газового выброса. Пробуренная вблизи скважина — дублер скв. 614 — вскрыла весь осадочный чехол без аварийных выбросов газа [2]. Было установлено, что мощность терригенно-карбонатных отложений венда увеличилась (от 300 м на Верхневилючанском НГКМ до 500 м и более на Среднеботуобинском). Значительно изменился характер вендских терригенных отложений, где преобладают глинистые разности, на фоне которых выделяются невыдержанные линзовидные пласты газоносных песчаников (харыстанский горизонт).

В первые годы поискового бурения интерпретация результатов работ производилась исключительно на основе пликативной модели при полном отсутствии разрывных тектонических нарушений. Тогда же выяснилось, что перспективы нефтегазоносности вендских терригенных отложений на Верхневилючанской площади в связи с указанными литологическими условиями и отсутствием регионально выдержанных песчаных коллекторов оце-





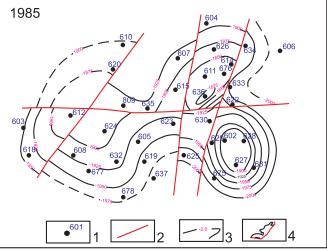


Рис. 3. Эволюция представлений о строении ловушек нефти и газа на Верхневилючанском нефтегазоконденсатном месторождении

1 – глубокие скважины, пробуренные в разные годы; 2 – разрывные тектонические нарушения по состоянию на разные годы изучения; 3 – изогипсы отражающего сейсмического горизонта КВ (вблизи от кровли вендского терригенного комплекса) (1973 г.); 4 – границы блоков в строении залежей Верхневилючанского НГКМ, (2017 г.)

ниваются невысоко. Одновременно стало известно о получении притоков газа и нефти в ряде скважин из юряхского карбонатного горизонта. Этот горизонт залегает в кровле вендского комплекса непосредственно под осинским карбонатным горизонтом раннего кембрия, регионально распространенным на юге Сибирской платформы. В итоге юряхский продуктивный горизонт стал изучаться на Верхневилючанском НГКМ в качестве базового. Для объяснения различной насыщенности карбонатных коллекторов в соседних скважинах вновь начали использовать модель блокового строения изучаемых нефтегазовых залежей. Блоки с разной насыщенностью разделены экранами в виде разрывных тектонических нарушений. Так, по состоянию на 1985 г. на месторождении условно было выделено одно продольное нарушение и три поперечных. Для уточнения положения разрывов-экранов на месторождении периодически проводились небольшие объемы дополнительных работ МОГТ-2D.

В 2015 г. (к времени передачи Верхневилючанского НГКМ в недропользование для доразведки и начала промышленной эксплуатации) на подсчетном плане запасов УВ по юряхскому карбонатному горизонту уже выделялось множество разрывных нарушений различной формы и протяженности. Вместе с ними появились неопределенности в пла-

не их морфогенетической типизации. Особо следует отметить, что проблема выяснения степени проницаемости или гидрогеологической закрытости разрывных нарушений все еще находится в начальной степени изучения.

В 1970-1980-е гг. обобщением и анализом результатов геолого-разведочных работ на нефть и газ в Якутии наряду со специалистами Мурбайской геофизической и Среднеденской нефтегазоразведочной экспедиций активно занимались сотрудники многих научных институтов, проводивших исследования на Сибирской платформе (СНИИГГиМС, ВНИ-ГРИ, ВостСибНИИГгиМС, ИГИРГИ, ВНИГНИ и др.). В отношении Верхневилючанского месторождения несомненный интерес представляют, в частности, научные представления исследователя из ВНИГРИ А. С. Ковтуна, изучавшего вопросы трещиноватости древних толщ Западной Якутии. Он обратил внимание на закономерную выдержанность и повторяемость ориентировок осевых линий отдельных антиклинальных структур, их групп и зон в региональном плане прогиба, отделяющего платформу от Патомского нагорья. Как уже было отмечено, в районе Верхневилючанского НГКМ, расположенного в краевой части Сибирской платформы к северу от указанного прогиба, древний структурный план перекрыт маломощными нижнеюрскими отложени-



ями. К югу от площади их сплошного распространения (в Предпатомском прогибе) эти закономерности четко фиксируются на дневной поверхности по данным геолого-съемочных и маршрутных научных исследований. Во ВНИГРИ было предложено сохранить установленную в прогибе закономерную ориентировку тектонических зон с существенным преобладанием северо-восточного простирания структурных форм и разделяющих их разрывных тектонических нарушений, а также распространить ее на территорию рассматриваемого месторождения, где они перекрыты наложенным комплексом нижнеюрских отложений. Реализация этой рекомендации, несомненно, способствовала повышению эффективности работ по обобщению и анализу новых данных сейсморазведки и глубокого бурения и, в частности, повышению достоверности оценки запасов газа и нефти Верхневилючанского НГКМ в рамках выполнения мегапроекта XXI в. - нефтепровода «Восточная Сибирь – Тихий океан».

В начале второй половины 1980-х гг. при сейсморазведочных работах на северном борту Нюйско-Джербинской впадины, приуроченной к западной ветви Предпатомского прогиба, были получены достоверные материалы о наличии среди других разрывных тектонических нарушений дизъюнктивных дислокаций надвигового типа. После многолетних исследований по прослеживанию в региональном плане отражений по сейсмическим профилям разных лет была обоснована надвиговая модель тектоники Предпатомской НГО [6].

В свете указанных данных мощность осадочного чехла на рассматриваемой территории значительно увеличилась за счет появления в разрезе крупного аллохтонного комплекса отложений. Усложнение структурного плана сопровождалось расширением перечня дизъюнктивных дислокаций и их морфогенетических типов. Установлено, что в упрощенном виде с охватом лишь верхней части разреза надвиговые дислокации распространились также к северу в глубь внешней краевой части Сибирской платформы.

Таким образом, структуры, выявленные на рассматриваемой территории сначала в виде простой антиклинальной структуры и включенные в перечень перспективных объектов, после изучения глубоким бурением непременно будут иметь гораздо более сложное строение, чем по первым сейсморазведочным данным: будут учтены разрывные нарушения различных генетических типов. В более изученном и уточненном варианте модель ловушки будет иметь смешанный пликативно-дизъюнктивный характер.

Выводы

1. Приведенные данные по эволюции представлений о ловушках нефти и газа на нефтегазоносных территориях Западной Якутии (от выявления перспективной структуры и дальнейшего процесса длительного изучения вплоть до откры-

тия месторождения, ее детализации и многократного уточнения) в целом свидетельствуют о том, что в геологических условиях древней Сибирской платформы почти нет ловушек нефти и газа простого строения.

- 2. Наиболее сложным строением характеризуются древние отложения (кембрий, венд, рифей). При выявлении потенциальных ловушек нефти и газа в этих отложениях следует ориентироваться на наличие и разработку пликативно-дизъюнктивных моделей.
- 3. Имеющиеся данные о достаточно высокой тектонической активности отдельных блоков и разделяющих их разрывных тектонических нарушений существенно повышают степень неопределенности при оценке надежности ловушки и гидрогеологической закрытости недр в целом [7].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Берзин А. Г., Архипова Т. А. О направлениях исследований юго-западных территорий Республики Саха (Якутия) для ускоренного наращивания углеводородного сырья в связи с реализацией мегапроектов // Вестн. Якут. гос. ун-та. 2010. Т. 2, $\mathbb{N} \ 2.$ С. 28—33.
- 2. **Геология** и геохимия нефтей северо-восточной части Непско-Ботуобинской антеклизы / А. А. Ануприенко, В. Е. Бакин, Е. И. Бодунов и др. Якутск: ЯНЦ, 1989. 126 с.
- 3. **Геология** и нефтегазовый потенциал югозапада Якутии: реалии и перспективы / В. С. Ситников, И. А. Бурова, И. А. Кушмар и др.; под ред. В. С. Ситникова, О. М. Прищепы. СПб.: ВНИГРИ, 2014. 436 с.
- 4. **Геология** нефти и газа Сибирской платформы / под ред. А. Э. Конторовича, В. С. Суркова, А. А. Трофимука. М.: Недра, 1981. 420 с.
- 5. Конторович А. Э., Мельников Н. В., Старосельцев В. С. Нефтегазоносные провинции и области Сибирской платформы // Геология и нефтегазоносность Сибирской платформы. Новосибирск: СНИИГГиМС, 1975. С. 4—21.
- 6. **Сереженков В. Г., Ситников В. С., Аржа-ков Н. А.** Надвиговая тектоника Предпатомского прогиба // Геология нефти и газа. 1996. № 9. С. 4—10.
- 7. Ситников В. С., Спектор В. Б. Новейшая тектоника нефтегазоносных территорий на юго-западе Якутии // Тихоокеанская геология. 2004. Т. 23, \mathbb{N}_2 6. С. 45—54.

REFERENCES

- 1. Berzin A.G., Arkhipova T.A. [The research of south-western areas of the Sakha Republic (Yakutia) for acceleration of the building of hydrocarbon raw materials in connection with the implementation of megaprojects]. *Vestnik Yakutskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2010, vol. 7, no. 2, pp. 28–33. (In Russ.).
- 2. Anuprienko A.A., Bakin V.E., Bodunov Ye.I., et al. [Geology and geochemistry of oils in the north-eastern



- part of the Nepa-Botuoba anteclise]. Yakutsk, YaNTs Publ., 1989. 126 p. (In Russ.).
- 3. Sitnikov V.S., Burova I.A., Kushmar I.A., et al. *Geologiya i neftegazovyy potentsial yugo-zapada Yakutii: realii i perspektivy* [Geology and oil and gas potential of the southwestern territories of the Republic of Sakha (Yakutia): realities, prospects, forecasts]. Saint Petersburg, VNIGRI Publ., 2014. 436 p. (In Russ.).
- 4. Kontorovich A.E., Surkov V.S., Trofimuk A.A., eds. *Geologiya nefti i gaza Sibirskoy platformy* [Petroleum geology of the Siberian Platform]. Moscow, Nedra Publ., 1981. 420 p. (In Russ.).
- 5. Kontorovich A.E., Melnikov N.V., Staroseltsev V.S. [Petroleum provinces and regions of the Siberian Platform]. *Geologiya i neftegazonosnost Sibirskoy platformy* [Geology and petroleum potential of the Siberian Platform]. Novosibirsk, SNIIGGiMS Publ., 1975, pp. 4–21. (In Russ.).
- 6. Serezhenkov V.G., Sitnikov V.S., Arzhakov N.A. [Shifting tectonics of the Predpatom]. *Geologiya nefti i gaza Oil and Gas Geology*, 1996, no. 9, pp. 4–10. (In Russ.).
- 7. Sitnikov V.S., Spektor V.B. [Neotectonics of oil and gas territories in south-western Yakutia]. *Tikhookeanskaya geologiya Russian journal of Pacific Geology*, 2004, vol. 23, no. 6, pp. 45–54. (In Russ.).
- © В. С. Ситников, Р. Ф. Севостьянова, К. А. Павлова, 2021



УДК 550.834(571.4)

АНАЛИЗ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ПОИСКОВОЙ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ В ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ

А. С. Ефимов¹, Е. В. Мосягин²

¹Всероссийский научно-исследовательский геологический нефтяной институт, Новосибирск, Россия; ²Сибирский НИИ геологии, геофизики и минерального сырья, Новосибирск, Россия

К проблеме повышения эффективности сейсморазведки (геологических построений и прогноза) на поисковом этапе в условиях Сибирской платформы на всем протяжении нефтепоисковых работ в Восточной Сибири обращались неоднократно. К сожалению, следует признать, что кардинального продвижения в решении данной проблемы до сих пор нет. Причины невысокой информативности геофизических материалов в имеющихся публикациях обоснованы и изложены весьма подробно: резко расчлененный рельеф; мелкоблоковые модели верхней части разреза; рассеивание энергии в грубообломочных пирокластических породах триаса; фон реверберации приповерхностных волн, формируемый тонкими пластами траппов в верхней части разреза, и локальные скоростные аномалии в средней; фон и интерференция частично кратно отраженных волн; сложная соляная тектоника; блоковость и мозаика вторичных изменений пород рифея, формирующая мозаику сейсмоакустических свойств. Все это понижает достоверность прогноза геологического разреза по материалам сейсморазведки. Часть этих негативных факторов снимается привлечением комплекса геофизических данных, но опора на сейсмические горизонты лежит и в основе комплексирования. Поэтому повышение информативности сейсморазведки в части фиксации отражающих границ на основе подбора и обоснования, полевых систем наблюдений и технологий является важнейшим вопросом.

Ключевые слова: сейсморазведка, методика, Восточная Сибирь, Сибирская платформа, верхняя часть разреза, геологическая эффективность.

ANALYSIS AND IMPROVEMENT OF SEISMIC EXPLORATION METHODS IN EASTERN SIBERIA

A. S. Yefimov¹, E. V. Mosyagin²

¹All-Russian Research Geological Oil Institute, Novosibirsk, Russia; ²Scientific Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources, Novosibirsk, Russia

Many enterprises and authors have often addressed the problem of increasing the efficiency of seismic exploration (geological constructions and forecasting) at the prospecting stage in the Siberian Platform (SP) throughout the entire period of oil prospecting in Eastern Siberia. This is confirmed by numerous publications and production reports. Unfortunately, it should be admitted that there is still no cardinal progress in solving this problem. The reasons for the low information content of geophysical materials for the SP conditions in these publications are substantiated and set out in great detail. This is both a sharply dissected relief, and small-block models of the near-surface section, and an energy dissipation in rudaceous pyroclastic rocks of the Triassic, background of reverberation, near-surface waves formed by thin layers of traps in near-surface section, local velocity anomalies in the middle part of the section, background and interference of partially multiple reflections, complex salt tectonics, blocking and tesselation of secondary changes in Riphean rocks, forming tesselation of seismoacoustic properties. These are the main, in authors' opinion, reasons reducing reliability of the geological section forecast based on seismic data. Some of them are removed using a complex of geophysical data. But tie, backbone on seismic horizons lies also at the heart of integration. Therefore, increasing the information content of seismic survey in regard to fixing the reflecting boundaries based on selection and substantiation, field observation systems and technologies is the most important issue in the problem under discussion.

Keywords: seismic exploration, methodology, Eastern Siberia, Siberian Platform, near-surface section, geological efficiency.

DOI 10.20403/2078-0575-2021-1-56-73

Сейсморазведочные работы МОВ нефтепоискового направления на Сибирской платформе, региона с чрезвычайно сложными сейсмогеологическими условиями, проводятся с 1960-х — начала 1970-х гг. Начав с простой системы наблюдений 1—3-кратного профилирования МОВ с аналоговой аппаратурой, геофизики за 15—20 лет осуществили переход на цифровую аппаратуру и более плотные системы наблюдений — 6—12-кратного с дальнейшим постепенным наращиванием вплоть до 48—96-кратного. Первые исследования возможностей поисковой сейсморазведки МОВ, методических и технологических приемов ее проведения и анализа регистрируемого волнового поля в пределах Тунгусской синеклизы были выполнены геофизиками Таймырской геофизической экспедиции треста «Красноярскнефтегазразведка» [5, 11 и др.].

После создания Богучанской геофизической экспедиции (1968 г.) начался значительный разворот сейсмических работ МОВ в пределах всей юго-



западной части платформы. Впервые были даны детальные характеристики волнового поля; выделены опорные отражающие горизонты в нефтеперспективных толщах венда — кембрия и рифея; построены сейсмогеологические разрезы; выполнены первые региональные маршруты в междуречье Ангары, Подкаменной и Нижней Тунгусок; предложены подходы к сейсмогеологическому районированию территорий. В этих работах принимали активное участие В. Г. Сибгатулин, А. А. Дека, В. А. Богдан, С. В. Бормотовым, Е. П. Кощук и другие специалисты [9 и др.].

Планомерные сейсморазведочные исследования по изучению геологического строения центральных и южных частей Курейской синеклизы были начаты после 1975 г. силами Борской геофизической экспедиции, треста «Красноярскнефтегазразведка», а с 1979 г. и ПГО «Енисейгеофизика». В последующем эти регионы были отнесены к областям с самыми сложными сейсмогеологическими условиями. Помимо региональных сейсморазведочных профилей были выполнены значительные объемы опытно-методических производственных исследований волнового поля верхней части разреза (ВЧР) в зонах развития интрузивных и эффузивных траппов; проанализированы причины резких, мозаичных колебаний интервальных и средних скоростей отраженных волн; исследованы региональные закономерности изменения волновых картин отражающих горизонтов нефтеперспективных уровней. Было доказано, что недостаточная эффективность МОВ в регионе обусловлена неоднородным строением ВЧР до глубины 1500 м и невозможностью компенсировать ее статическими поправками без существенных погрешностей. Результаты и выводы этих исследований отражены в работах В. И. Черских, В. А. Деткова, А. С. Ефимова и др. [1, 2, 5].

Следует остановиться на эволюции методик и технологий проведения так называемой речной сейсморазведки — сейсморазведки МОВ вдоль рек в местах, где они являются транспортными магистралями для проложения сейсморазведочных профилей. В условиях сложнейшей орогидрографии западной части Сибирской платформы (перепады высот до 600—800 м) и практически полного отсутствия транспортной инфраструктуры геофизические

маршруты вдоль рек позволили в короткие сроки изучить основные региональные особенности строения перспективных горизонтов венда и нижнего кембрия. Разрез по 1500 км профилю высокократного МОГТ вдоль р. Нижняя Тунгуска, протекающей на всем своем протяжении в зоне с интенсивным трапповым магматизмом, приведен на рис. 1.

В таблице приведены оценки перспективных структур, выявленных сейсморазведкой в пределах Сибирской платформы к 1980 г. Активизация поискового бурения в последующее десятилетие показала, что выявленные структуры в 1970—1980-е гг. в Непско-Ботуобинской и Байкитской антеклизах, на Ангаро-Ленской ступени подтверждались в 40—60 % случаев, а в Тунгусской синеклизе и прилегающих к ней районах — всего лишь в 10 %.

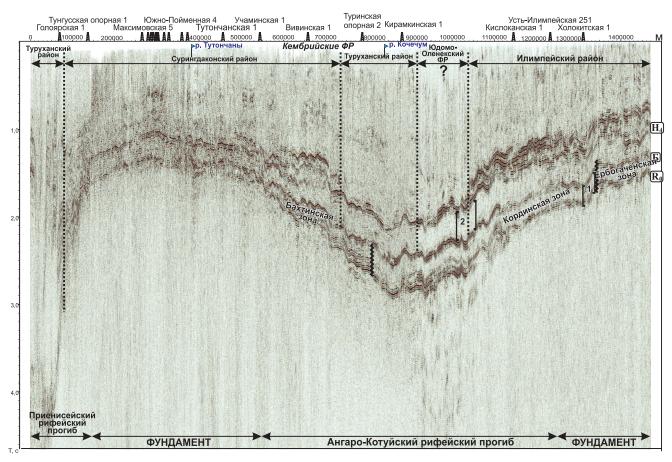
При этом выяснилось, что большинство локальных структур, выявленных сейсморазведкой МОВ-МОГТ на Тунгусской синеклизе, были латеральными аномалиями скоростей отраженных волн, которые формировались трапповыми интрузиями в средней и верхней частях разреза осадочного чехла на глубинах 100-2000 м. В середине 1990-х гг. сейсмические партии получили телеметрическую регистрирующую аппаратуру и были оснащены обрабатывающими центрами с новейшими программами обработки и интерпретации полевого материала, что обеспечило новый качественный скачок сейсмических исследований. На отдельных участках профилей стали достаточно надежно прослеживаться опорные отражающие горизонты в отложениях как вендско-кембрийского возраста, так и рифейского. Но в целом информативность сейсморазведочных разрезов МОГТ оставалась невысокой. Опорные отражающие горизонты нижнего кембрия и венда прослеживались и опознавались на временных разрезах на уровне 40±30 % профиля.

Дальнейшая эволюция полевой сейсморазведки в этом регионе довела кратность профилирования МОГТ до 80–100 и выше. Это уже позволяло посредством углубленной цифровой обработки доводить уверенную прослеживаемость (позиционную корреляцию) на сейсмических разрезах до 80±10 %. По-прежнему высоки были ошибки в оценке средних скоростей отраженных волн: по внутренним возможностям МОВ она не превышала точности 10—

Сведения о качестве материалов при подготовке структур в Лено-Тунгусской НГП [3]

Кол-во рас- смотренных структур за 1975–1979 гг.	Методы подготовки, %		Прослеживание гори-	Точность структур /	Средняя ам-	Средняя
	МОВ	МОВ+МОГТ с кратностью >6	зонтов (%) и плотность	плотность профи- лей, км/км²	плитуда струк-	1
Тунгусская синеклиза и прилегающие к ней районы						
6	70	30	40	±100/0,25	100-500	350
Непско-Ботуобинская и Байкитская антеклизы, Ангаро-Ленская ступень						
22	70	30	70	±40/0,35	50–260	200
В среднем по СССР						
	30	70	80	±30/1,0	50	70





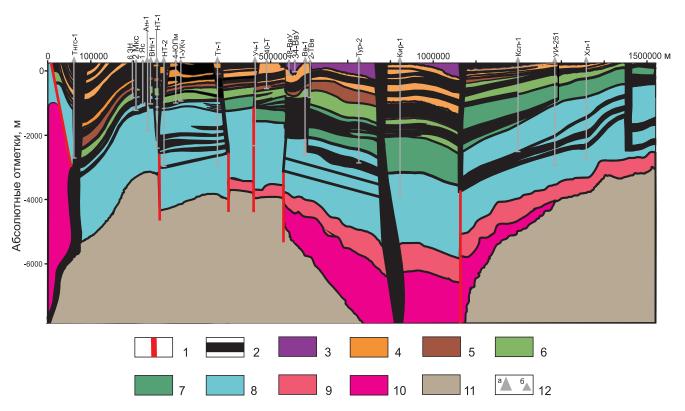


Рис. 1. Сейсмический и геологический разрезы по профилю р. Нижняя Тунгуска протяженностью 1500 км [13] (работы 2012–2014 гг. на землях III категории сложности для проведения сейсморазведки); нижний разрез – прогноз распределения интрузивных траппов в осадочном чехле вдоль профиля

1 — разрывные нарушения; 2 — интрузивные образования; осадочные образования: 3 — нижнего триаса, 4 — верхнего палеозоя, 5 — девона, 6 — силура, 7 — ордовика, 8 — венд-кембрия, 9 — венда, 10 — рифея; 11 — образования фундамента; 12 — скважины: а — глубокие, б — колонковые



15 %, что при средней скорости 5400 м/с для времени регистрации опорных отражений венда 1,4 с (глубина около 4000 м) давало погрешность определения глубины 300 м и более. Это происходило в том числе и вследствие использования эффективных скоростей суммирования для структурных построений в условиях компенсации погруженных неоднородностей ВЧР, что существенно искажает кинематические параметры отраженных волн. Бурение параметрических скважин в 2008-2012 гг. на локальных структурах, выявленных работами МОГТ в конце 1980-х - начале 1990-х гг. (Среднекочемской на севере Иркутской области, Нижнеимбакской в Туруханском районе Красноярского края, Кугасской на северо-восточном склоне Непско-Ботуобинской антеклизы в Якутии), показало, что ошибки в оценке глубины перспективных уровней нижнего кембрия – венда достигали 450 м. Указанные районы Сибирской платформы в начале 1990-х гг. по сейсмогеологическим характеристикам были отнесены к землям III и II-III категорий сложности [6], т. е. территориям с невысокой надежностью структурных построений при использовании только материалов MOB.

Нефтегазопоисковые работы методом ОГТ охватывают различные районы Сибирской платформы (от Присаяно-Енисейской синеклизы на юге до центральной части Курейской синеклизы на севере и Вилюйской синеклизы на востоке). Осадочный чехол здесь отличается широким набором формационных и фациальных обстановок и, соответственно, отличий в сейсмоакустических, геоэлектрических характеристиках нефтегазоносных толщ и горизонтов. Регионы существенно различаются по сложности сейсмогеологических, орогидрографических и климатических условий проведения полевых работ.

Если в южной части Сибирской платформы на дневной поверхности обнажаются кембрийские и ордовикские осадочные комплексы, благоприятные для возбуждения упругих колебаний (УК) традиционными взрывными и невзрывными способами, то в северной (особенно в Курейской синеклизе и северо-западной части Непско-Ботуобинской антеклизы) это обширные и мощные поля туфогеннолавовых образований, которые в разной степени поглощают и рассеивают энергию сейсмического сигнала. Различные условия возбуждения и приема упругих колебаний влияют на информативность полевых сейсмограмм и окончательных временных разрезов, используемых для геологической интерпретации.

Эти проблемы сейсморазведки применительно к условиям Сибирской платформы были определены еще на начальном этапе ее изучения. Особенно остро они проявились на перспективных территориях севера (Бахтинский мегавыступ, Курейская синеклиза, северо-запад Непского свода), где ВЧР осадочного чехла мощностью до 1,5—2 км не только сложена туфогенными образованиями нижнего три-

аса, но и насыщена пластовыми и секущими телами долеритов, суммарная мощность которых может превышать 1000 м (до 50 % разреза). В связи с этим ВЧР приобретает исключительно сложное строение и вносит искажающее влияние в результаты любого геофизического метода, изучающего строение залегающих ниже перспективных горизонтов.

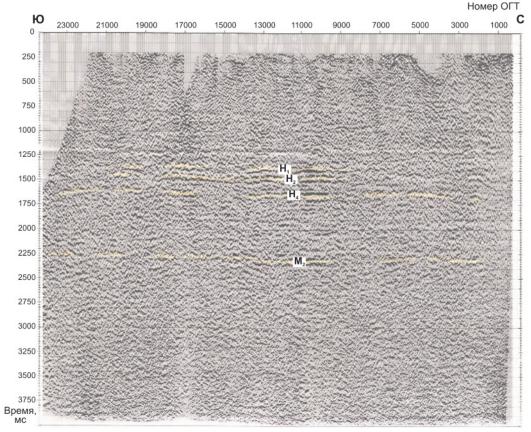
С целью поиска эффективной методики полевых сейсморазведочных работ в зонах широкого развития туфогенных и интрузивных образований триаса в 1980-х гг. был выполнен комплекс опытнометодических исследований на Онекском и Холминском полигонах (бассейн правобережья нижнего течения р. Нижняя Тунгуска). Эти территории относятся к Северо-Тунгусской нефтегазоносной области, в недрах которой по прогнозным оценкам заключено не менее четверти ресурсов углеводородов Сибирской платформы.

Этот район признан наиболее сложным по сейсмогеологическим условиям изучения нефтегазоперспективных уровней нижнего кембрия и венда. Результаты бурения параметрических скважин показали, что горизонты нижнего кембрия, венда и базальные уровни осадочного чехла на глубинах около 3500-4200 м залегают практически горизонтально с плавным региональным погружением к центральным областям Курейской синеклизы, с углами падения, традиционными для осадочного чехла платформенных областей (менее 1°). В верхней части разреза (до глубин 2–2,5 км) толща верхнего - среднего палеозоя интенсивно интрудирована долеритами (траппами) и перекрыта грубообломочными туфами и покровами эффузивов триаса, суммарная мощность которых колеблется от 100-200 до 1000 м в зависимости от рельефа.

Научное руководство работами на полигонах осуществлялось сотрудниками ВНИИГеофизика, ведущего института СССР в области подобных исследований, под руководством д. г.-м. н. О. К. Кондратьева. Применялась сверхплотная система наблюдений с шагом между пунктами приема 2,5–10 м, возбуждением сейсмического сигнала взрывами из скважин глубиной 15 м и невзрывными импульсными источниками. Шаг между пунктами возбуждения (ПВ) – от 20 м. Регистрация сигнала осуществлялась отечественными 16-разрядными сейсмостанциями «Прогресс». Кратность перекрытий по ОГТ – до 72. Дополнительно проведены работы методом обращенного годографа в структурно-колонковой скважине глубиной 1200 м. Информация обрабатывалась советскими и французскими специалистами.

По результатам выполненных работ был сделан вывод, что отсутствие регулярных отраженных волн на сейсмограммах и временных разрезах связано с резко неоднородной неслоистой средой ВЧР, сложенной в основном грубообломочными туфами и эффузивами. Зоны с подобным строением отнесены к III категории сложности и признаны неблагоприятными для проведения сейсморазведки.





расположения профилей

Рис. 2. Временной разрез в пределах юго-восточного борта Курейской синеклизы. 1990 г.

Этот вывод подтвержден также на других площадях Красноярского края и в некоторых районах северозападной части Иркутской области, где на поверхности залегали грубообломочные туфогенные образования. По результатам обработки на временных разрезах выделялись только фрагменты отражающих горизонтов с прослеживаемостью не более 25 % по профилю (рис. 2).

По предложенным О. К. Кондратьевым градациям (категориям оценки) качества прослеживания опорных сейсмических границ на разрезах ОГТ-МОВ [6] было выполнено районирование территории по сложности сейсмогеологических условий. На рис. 3 приведена подобная схема для территории Красноярского края.

Районирование по аналогичным критериям восточных территорий Сибирской платформы позволило отнести большую часть Иркутской области и якутскую часть платформы к землям I категории. Здесь почти повсеместно отсутствуют отложения грубообломочных пирокластических и эффузивных пород триаса. В значительно меньшей степени, чем в западной части, разрез палеозоя насыщен трапповыми интрузиями (не более 10 % разреза осадочного чехла). Лишь северо-западные площади Иркутской области, где развиты толщи туфов триаса, рассматривались как земли II-III категорий; кроме того, эффективность сейсморазведки весьма низка на площадях Предпатомского прогиба. Но причины низкой прослеживаемости опорных горизонтов на временных разрезах здесь связаны со сложными структурно-тектоническими обстановками, развитием горстов, разломов, зонами интенсивных межпластовых перетоков кембрийских солей и зональным мозаичным выщелачиванием пластов каменной соли в нижнем — среднем кембрии. Перечисленны особенности геологического строения приводят к резким нарушениям акустической слоистости в средней и верхней частях разреза.

Как видно из анализа карт суммарной мощности траппов [14] мезозойского и верхнепалеозойского комплексов осадочного чехла Сибирской платформы, границы зон III и II категорий практически полностью соответствуют закономерностям изменения суммарных мощностей интрузивных траппов и эффузивных образований этих комплексов (рис. 4).

Следует заметить, что характеризуемые результаты получены в 1970-1990-е гг. с применением хотя и цифровых (16-разрядных), но не телеметрических (24-разрядных) сейсмостанций, а кратность преимущественно составляла 12-24, редко 48. Материалы обрабатывались с использованием программных продуктов, которые, безусловно, уступали современным. Переход на телеметрические системы, обладающие большим динамическим диапазоном, резкое увеличение средней кратности систем наблюдения по ОГТ, применение современных обрабатывающих программных комплексов, конечно же, улучшили прослеживаемость отражений на современных сейсмических разрезах. Но проблемы геологической эффективности сейсморазведки на площадях Сибирской платформы при нефтегазопоисковых работах, особенно в зонах III категории, со-



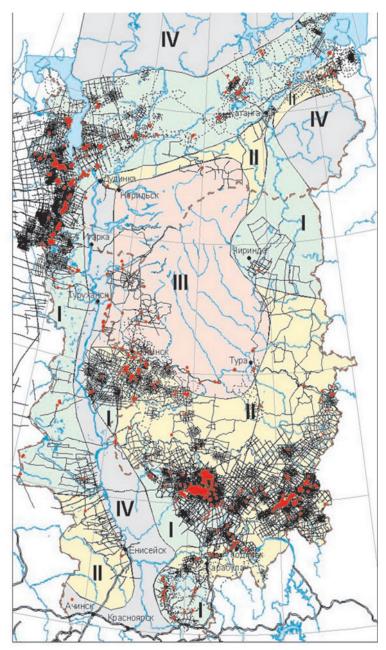


Рис. 3. Схема категории сложности сейсмогеологических условий Красноярского края (по О. К. Кондратьеву) для изучения целевых горизонтов нижнего палеозоя — венда и мезозоя

I – благоприятные условия (выдержанная сейсмоакустическая характеристика ВЧР, редкие интрузии траппов, относительно выдержанная, плавно меняющаяся по латерали интервальная скорость ВЧР); II - неблагоприятные (появление участков развития эффузивных отложений в ВЧР, мелкоблоковое строение интрузий траппов в ВЧР, весьма резкие изменения по латерали интервальных скоростей ВЧР до глубин 800 м либо наличие интенсивной дизъюнктивной тектоники); III - сложные (поля развития мощных толщ эффузивов, интенсивная интрудированность осадочного чехла траппами до глубин 1800-2000 м, до 30-40 % интрузий в разрезе, интенсивные изменения по латерали интервальных скоростей ВЧР до глубины 2000 м); IV - недоступные (выходы пород фундамента, складчатых сооружений)

хранились. Основных проблем две: 1) информативность по степени прослеживаемости сейсмических разрезов, 2) точность структурных построений по сейсмическим горизонтам.

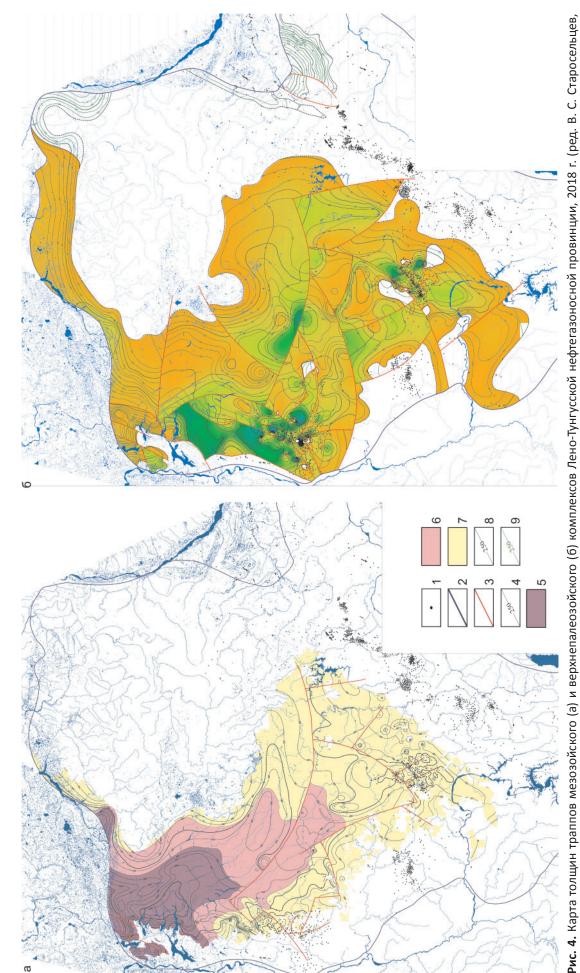
Точность структурных построений определяется надежностью корреляции отражающих горизонтов и наличием опорной информации по изменению и колебаниям скоростных характеристик по разрезу осадочного чехла и вдоль сейсмического профиля [2, 16]. При этом скоростные неоднородности формируются колебаниями интрудированности траппами разреза осадочного чехла (от 10 до 60 % траппов до глубины 1500 м). Проиллюстрируем последствия таких колебаний в поле отраженных волн на примере Моктаконского участка (рис. 5), расположенного в Южно-Тунгусской НГО, в междуречье Бахты и Нижней Тунгуски. Интервальные скорости трапповых тел колеблются около значений в 6500 м/с, а скорости в породах девона и пермо-

карбона, вмещающих основную массу интрузий в пределах участка, — 4000—5000 м/с. Соответственно искажаются времена прослеживания опорных сейсмических границ в поле отраженных волн.

Для повышения информативности (прослеживаемости отражений на разрезах) необходимо определить причины ее снижения и отсутствия, а также смоделировать системы наблюдений ОГТ для борьбы с ними.

Анализ значительного объема материалов вертикального сейсмического профилирования (ВСП) глубоких и колонковых скважин бассейна нижнего и среднего течения р. Нижняя Тунгуска (земли II и III категорий сложности) свидетельствует, что практически на всех монтажах (разрезах) ВСП существуют восходящие оси синфазности отраженных волн от исследуемых глубоких границ. Однако часто в скважинах, особенно в полях развития триасовых образований, эти оси из глубины доходят до подошвен-





или бурения (магмоактивные); 4 —стратоизогипсы подошвы нижнего триаса; области распространения: 5 — преимущественно лавовых покрытий, 6 — туфолавовых об-разования, 7 — туфогенно-осадочных образований; суммарная мощность траппов: 7 — минимальная (до 100—200 м), 8 — максимальная (от 200 до 500—600 м) 1 — глубокие и колонковые скважины; 2 — граница Лено-Тунгусской НГП; 3 — разрывные нарушения, установленные по данным геологической съемки, сейсморазведки Г. Ф. Попелуха)



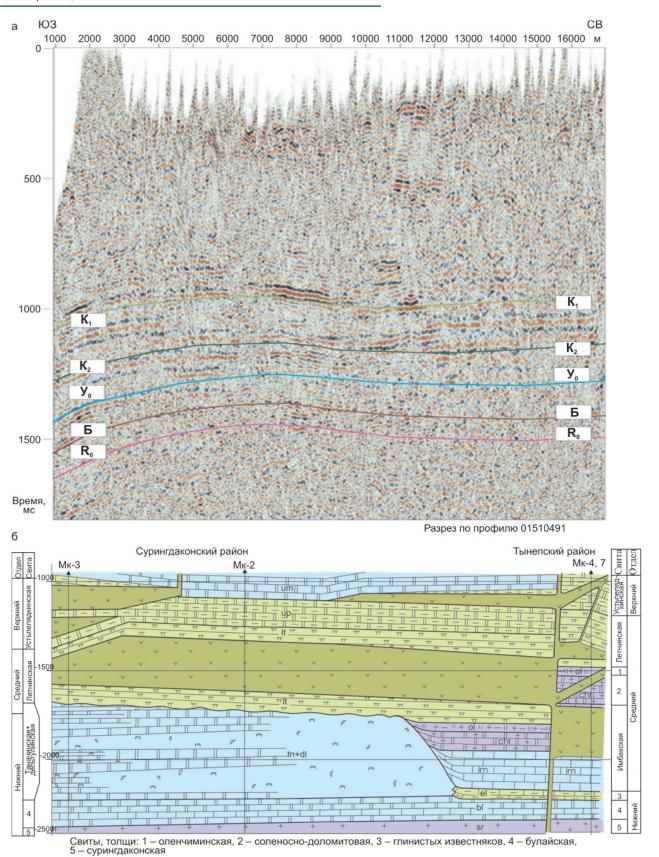


Рис. 5. Пример временного разреза зоны III категории. Моктаконская площадь (разрезы: а – сейсмический, б – геологический)

Свиты: 1 — усть-мундуйская, 2 — сурингдаконская, 4 — устьпелядкинская, 5 — оленчиминская, 7 — летнинская, 10 — таначинская+дельтулинская, булайская; толщи: 3 — глинисто-известняковая еланского горизонта, 6 — известняковая (имбакская) амгинского яруса, 8 — соленосно-доломитовая (хурингдинская); 9 — интрузии долеритов; органогенные доломиты: 11 — кавернозные, 12 — пористые



№ 1(45) **♦** 2021

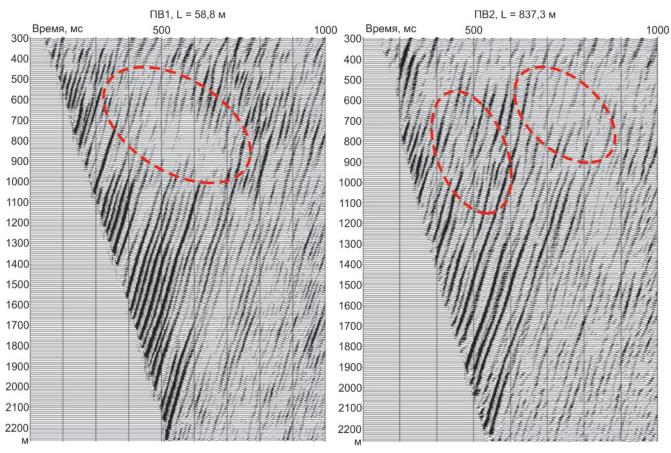
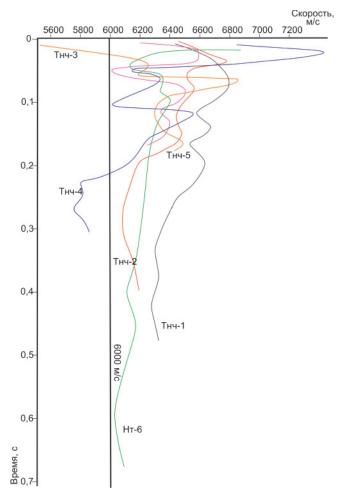


Рис. 6. Волновые поля восходящих продольных волн с ПВ1 и ПВ2 (Нижнечонская скв. 252)



ных частей верхних сложно построенных трапповых интрузий и подошвы туфов триаса, а дальше к поверхности не прослеживаются либо прослеживаются по очень сложным траекториям (рис. 6). При этом монтажи ВСП одной скважины из разных пунктов возбуждения (ПВ с расстояниями между ними даже первые сотни метров) на поверхности очень сильно разнятся по этому критерию (рис. 7). Пункты возбуждения, располагаясь либо вокруг скважины, либо по лучам на разных удалениях от нее, по приповерхностным геологическим условиям внешне очень схожи, но существенно различаются по ходу отраженных лучей в силу появления вертикальной или сложной формы трапповых интрузий, особенно в верхней части (от 0 до 500-800 м) осадочного чехла или в толще грубообломочных туфов триаса вблизи поверхности (0-100 м).

Неоднократно предпринимались попытки изучения влияния поверхностных условий на формирование полного волнового поля с использованием аппарата математического моделирования. Так, например, показано, что в зависимости от неоднородности ВЧР на поверхности могут формироваться участки «тени», куда отражения от глубоких горизонтов не доходят из-за эффектов преломления [10]. Это определяется многократными преломлениями

Рис. 7. Сопоставление графиков средних скоростей, пересчитанных на уровень –800 м глубоких скважин Таначинской и Нижнетунгусской площадей и Бахтинского выступа



на промежуточных криволинейных границах (кромках интрузивных тел и грубообломочных туфов), а также отражениями от вертикальных и околовертикальных границ, формируемых интрузиями.

Такие участки не бывают крупными по площади, обычно первые десятки метров вдоль расчетного профиля. Именно такова природа упомянутых особенностей разрезов ВСП для изучаемого региона. И этой же причиной можно отчасти объяснить «мерцание» (появление и исчезновение) отражений на сейсморазведочных разрезах.

Другая модель имитировала геолого-геофизические условия разреза осадочного чехла по профилю 03 Ванаварского полигона, типичному для региона и характеризующемуся весьма сложным строением с резкими изменениями толщин отдельных слоев и скоростей в них [5, 16] (рис. 8, а, б). Смоделирована наземная съемка 2D с шагом между ПВ 50 м и ПП 5 м, с выносами 2500 м от источника; выполнена обработка полученных модельных сейсмограмм, рассчитан синтетический разрез (см. рис. 8, в).

Данный эксперимент показал, что в результате обработки не удалось адекватно восстановить геологическую картину, особенно в левой части профиля (до ПК 125). Здесь волновое поле разреза имеет сложную интерференционную картину, связанную с многочисленными реверберациями, возникающими в межтрапповом пространстве. В правой части профиля (после ПК 125) изображение глубоких горизонтов на сейсмическом разрезе также далеко от реального. Самые яркие отражения связаны с трапповым телом, а ниже по разрезу фиксируются преимущественно кратные и частично кратные волны, близкие по кинематическим параметрам к скоростям целевых отраженных волн и часто превосходящие их по амплитуде.

Основным приемом повышения информативности сейсморазведочных материалов МОГТ в подобных сейсмогеологических условиях является увеличение плотности систем наблюдения МОГТ [1]. Подбор условий возбуждения, в частности с использованием взрывов в скважинах на разных глубинах, не дал существенного прироста информативности без резкого увеличения плотности системы наблюдений МОВ-ОГТ.

На протяжении всего периода сейсморазведочных нефтепоисковых работ в условиях земель ІІ и ІІІ категорий земель на Сибирской платформе к проведению таких опытных работ МОГТ по подбору оптимальных условий возбуждения упругих колебаний возвращались многократно. Основной причиной этих неудач является невозможность добиться достаточной идентичности возбуждения от пункта к пункту в условиях крупнообломочных туфов и резко изменчивой интрудированности приповерхностной части ВЧР. Относительно удачными оказались опытно-методические работы в пределах южного борта Курейской синеклизы, проведенные в 2013 г. Отрабатывался 50-километровый профиль со следующими параметрами системы наблюдений: шаг пунктов приема (ПП) 12,5 м, пунктов взрыва (ПВ) 25 м, длина расстановки 16 км, кратность 320. Профиль имел перекрытие с ранее отработанным региональным профилем, соединяющим скважины Лебяжинская и Чуньская 120 (шаг ПВ/ПП 50 м, длина расстановки 8 км, кратность 80). На рис. 9 показано сопоставление перекрывающихся участков этих разрезов; их обработка выполнялась в одной организации [12].

Сопоставление позволяет сделать следующие выводы:

- плотный шаг по пунктам приема способствовал лучшей дискретизации регулярных волн и дал возможность избежать аляйсинга поверхностных волн-помех, что благоприятно сказалось на их подавлении алгоритмами фильтрации;
- система наблюдений с более плотным шагом позволила повысить вертикальную и латеральную разрешенность разреза и привела к лучшему отображению пакетов отражений на малых временах;
- разрез по опытно-методическому профилю в целом получился чище и динамичнее благодаря увеличению соотношения сигнал/помеха в процессе обработки.

Именно на этом этапе изучения Сибирской платформы появилось понимание необходимости применения комплекса геолого-геофизических методов, оптимальность и эффективность которого для различных зон дискутируются до настоящего времени. Полученные на различных площадях результаты сопутствующих сейсморазведке геофизических методов регионально-поисковой стадии показали геологическую эффективность электроразведки ЗСБ и профильной высокоточной гравиразведки. Выделение по геоэлектрическим разрезам проводящих зон в интервалах развития потенциально продуктивных горизонтов позволяет выполнить районирование объектов по степени перспективности и наметить приоритетность их ввода в поисковое бурение или лицензирование участков недр. На ряде площадей получена хорошая сходимость сейсморазведочных и электроразведочных данных по картированию зон выклинивания терригенных отложений нижнего венда на глубине около 4 км.

На участках сложного строения ВЧР высокоточные гравиметрические наблюдения позволяют уточнить статические поправки [7, 8] и более эффективно выполнить синфазное суммирование отраженных волн (рис. 10, а, б). Применение современных телеметрических станций и повышенная в 3–4 раза (до 100–200) кратность наблюдений позволили получить в этих же районах сейсмический материал со значительно более высоким разрешением. Основным приемом при этом было увеличение плотности наблюдений, т. е. сгущение пунктов возбуждения и приема в 2–4 раза. Показано, что в условиях резко неоднородного строения ВЧР применение невзрыв-

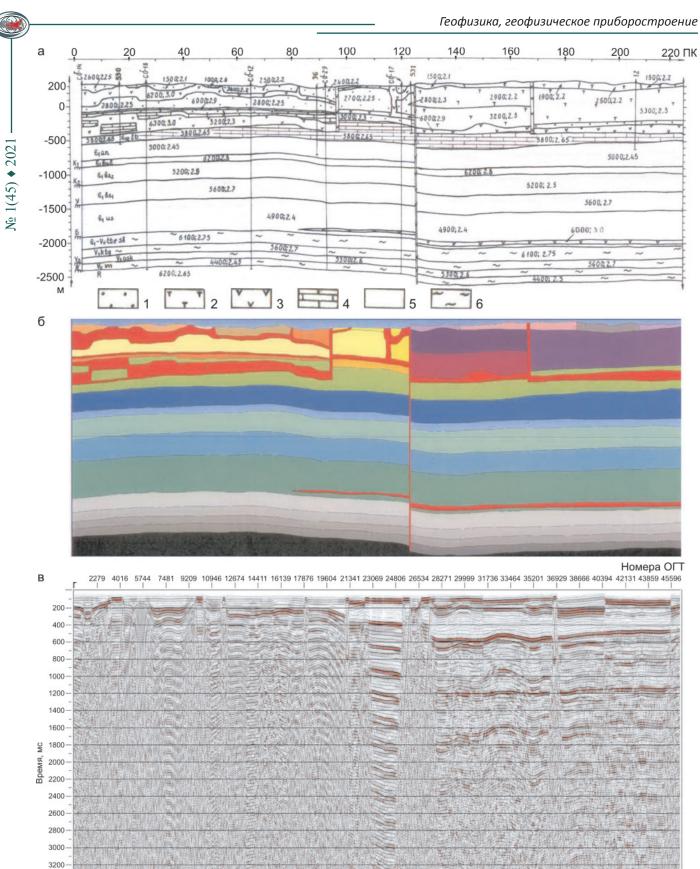


Рис. 8. Геологическая модель среды (а), скоростная модель (б) и синтетический временной разрез (в). Сост. А. В. Исаев Отложения: 1 – терригенные пермокарбона, 2 – туфогенные триаса; 3 – траппы, 4 – карбонатные литвинцевской свиты среднего – нижнего кембрия, 5 – галогенно-карбонатные нижнего кембрия, 6 – терригенно-карбонатные венда

3600

No 1(45) ◆ 2021

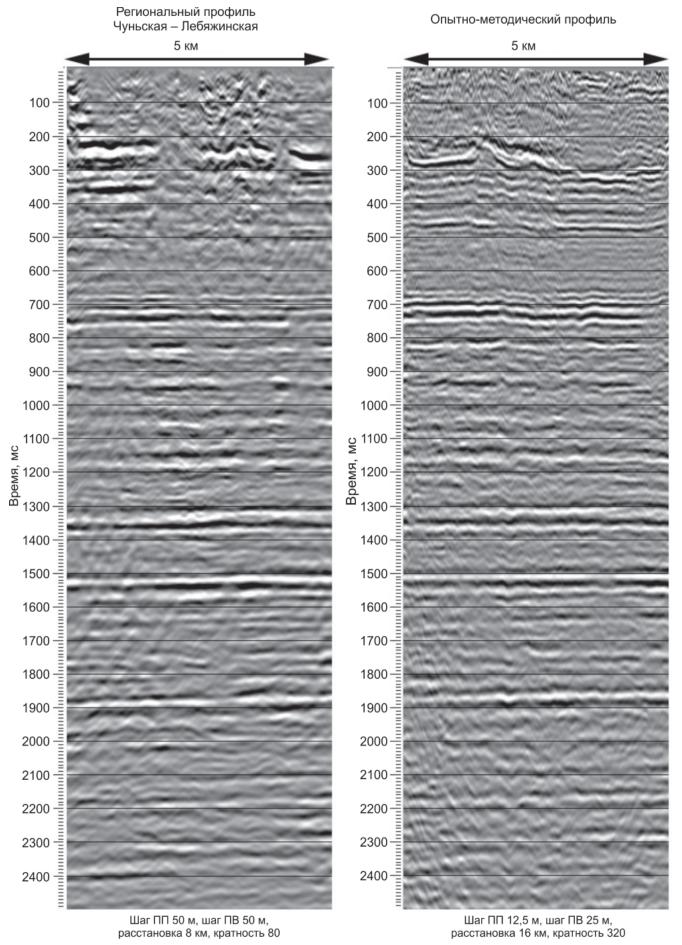


Рис. 9. Сопоставление участков профилей Чуньская-Лебяжинская (а) и опытно-методического профиля (б)

№ 1(45) **♦** 2021

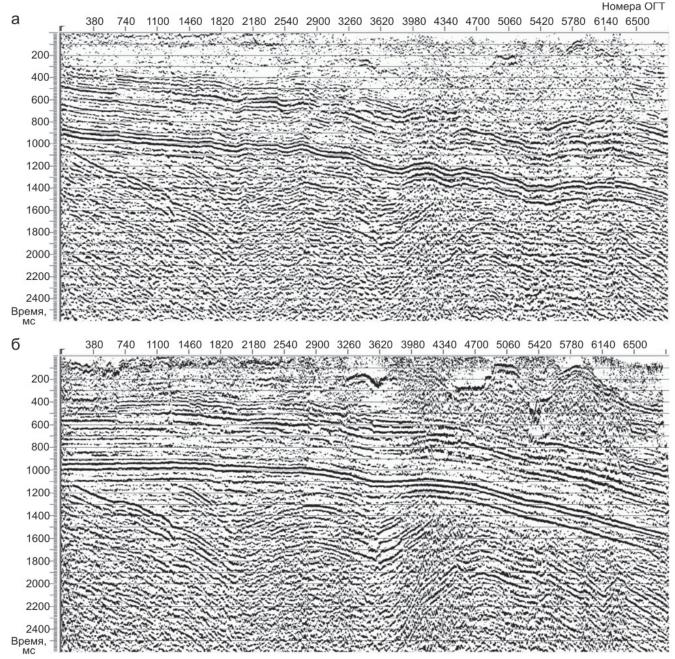


Рис. 10. Разрез со статикой: а — стандартного варианта обработки (за рельеф и по волнам в первых вступлениях), б — рассчитанной с использованием детальных гравиметрических наблюдений вдоль профиля МОГТ «Алтай — Северная Земля»

ной технологии со сгущением пунктов возбуждения позволяет получать информативный сейсмический материал, сопоставимый с таковым, полученным взрывным способом возбуждения упругих колебаний, и часто превосходящий его по динамическим характеристикам записи и коэффициенту прослеживаемости отражающих горизонтов.

Тем не менее для всех основных перспективных зон Сибирской платформы сохраняется актуальность совершенствования методических подходов с целью повышения геологической эффективности сейсморазведки при нефтегазопоисковых работах. Это в первую очередь касается повышения информативности временных разрезов, позволяющих при сложной ВЧР максимально достоверно картировать

структурный план по целевым горизонтам осадочного чехла и выполнять сейсмофациальный анализ с районированием перспективных комплексов по литологическим особенностям и седиментационно-емкостным свойствам.

Относительно условий возбуждения упругих колебаниях при работах МОГТ в условиях земель ІІ категории можно утверждать следующее. Сложность геологического строения приповерхностных отложений, резкая их изменчивость и невыдержанность сейсмоакустических свойств не позволяют без чрезвычайных затрат добиться близко идентичных условий возбуждения упругих колебаний при работах МОГТ. Для возбуждения взрывами в этих условиях необходимо погружать заряд на значимые глу-



бины. Опыты 1980-х гг. показали, что относительно идентичными спектральными характеристиками обладают взрывы в скважинах глубиной не менее 15—20 м, а часто более 25 м. Но добиться массового бурения глубоких взрывных скважин в условиях долеритового поля нереально ни экономически, ни технологически. Категории буримости долеритов достигают 11—12, что определяет чрезвычайную затратность таких работ (ресурсную, экономическую, очень низкую производительность станка и т. п.). Кроме того, здесь, как и для пунктов приема, требуется сгущение и пунктов взрыва, для того чтобы набрать необходимую статистику по ОГТ в условиях мозаики участков «тени», куда отражения от глубоких горизонтов могут не доходить.

Помимо крайне неоднородного строения и состава ВЧР в зонах III и II категорий преобладают сложнейшие орогидрографические условия: расчлененный рельеф, крутые склоны, уступы, гребни, формируемые трапповыми дайками. Это резко, вплоть до невозможности, ограничивает применение вибрационных источников для возбуждения упругих колебаний. Поэтому рекомендуется использование отечественных невзрывных импульсных источников. Как показал опыт работ в данном

регионе, применение группы из 2–4 импульсных электромагнитных источников позволяет добиться относительно близкой по спектральным и энергетическим характеристикам идентичности возбуждений.

В последнее время на нескольких площадях в Сибири в опытно-методическом режиме выполнены работы МОГТ при движущемся и работающем в движении импульсном электромагнитном источнике [1]. При скорости трактора, который тянет пару источников СЭМ (санный электромагнитный источник), 2,5 км/ч источники возбуждают сигнал с частотой 5-6 с, что определяет шаг ПВ по профилю 5-7 м. Конечно, такая технология требует высочайшей точности геодезической привязки в реальном времени, т. е. параллельно с движением источника. Этот вопрос решен. В результате технология «в движении» показала высокую эффективность и результативность, а также высокую производительность. Получены разрезы МОГТ, достигнутая кратность которых несколько сотен и тысяч. Их информативность по категориям прослеживаемости и разрешенности/детальности выше стандартных работ МОГТ (рис. 11).

Разрез по маршруту вдоль р. Нижняя Тунгуска (см. рис. 1) протяженностью 1500 км от-

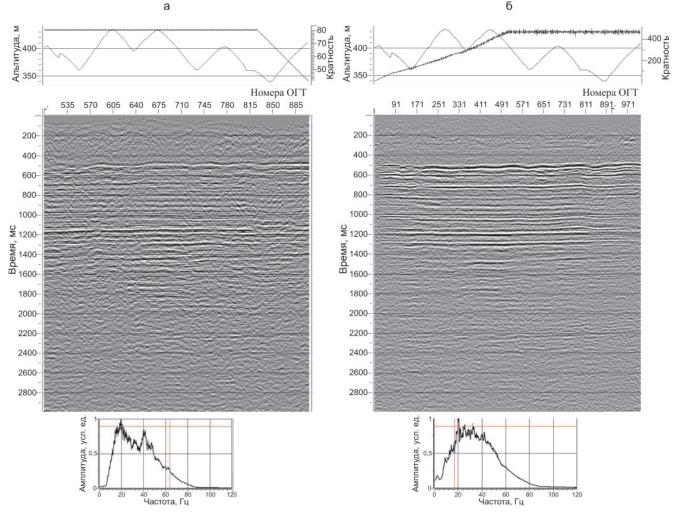


Рис. 11. Сопоставление сейсмических разрезов, полученных по технологиям: а – стандартной МОГТ (шаг ПП/ПВ 50 м, кратность 80), б – «динамической» (ПВ – импульсный источник в движении, шаг ПВ 8 м, кратность 480)



№ 1(45) **♦** 2021

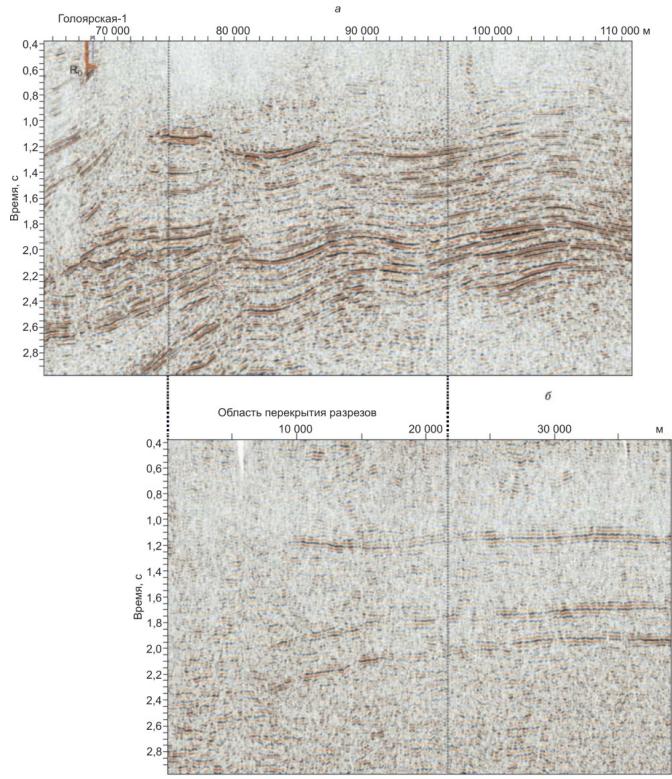


Рис. 12. Сопоставление участка профиля по р. Нижняя Тунгуска (а) и наземного профиля 034691 (б)

работан по технологии ПВ в движении, средний шаг ПВ был около 6 м, а достигнутая кратность колебалась в пределах 300—2000 (в зависимости от методов и параметров бинирования) при шаге общей площадки отражения вдоль маршрута 25 м. Во-первых, рис. 1 иллюстрирует возможности высокой кратности МОГТ в условиях сложнейшей сейсмогеологии ВЧР в трапповой зоне, во-вторых, подтверждает необходимость сгущения шага ПП и ПВ в подобных областях и, в-третьих, показывает

возможность и эффективность работы с источником в движении.

Кроме того, высокая геологическая эффективность этого маршрута [13] (рис. 12, 13) в совокупности с почти двукратным снижением стоимости 1 пог. км сейсмопрофиля относительно обычных наземных работ МОГТ позволяет рекомендовать широкое проведение таких работ на реках северной части Тунгусской синеклизы, в области с очень низкой изученностью нефтегазоперспективных уров-



№ 1(45) **♦** 202

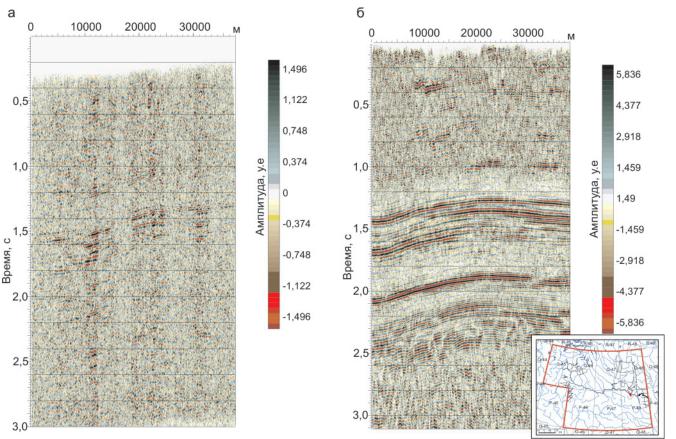


Рис. 13. Сопоставление сейсмических разрезов по профилю 10711288 (а) с разрезом по реке Нижняя Тунгуска (б)

ней, где на балансе числится четверть всех ресурсов углеводородов Сибирской платформы.

Плотные системы наблюдений с шагом от 5-10 до 15 м между каналами и пунктами возбуждения при обработке материала позволят выполнить группирование трасс (синтетическое группирование ПП с учетом статических и кинематических поправок) в любой комбинации, по суммарным разрезам определить наиболее эффективные технологические приемы для будущего уплотнения полевых работ для каждой конкретной площади, а также подобрать методические приемы обработки для решения задач изучения седиментационно-емкостных свойств перспективных горизонтов. В частности, в Восточной Сибири для горизонтов рифея и венда необходима дообработка финальных временных разрезов прошлых лет с использованием разнообразных современных подходов к анализу динамических атрибутов регистрируемого волнового поля.

В заключение можно сделать следующие выводы.

Чрезвычайно важный фактор при определении качества и пространственного разрешения сейсмического изображения — выбор источника упругих волн и плотность размещения пунктов возбуждения в измерительной сети. Для получения данных высокого разрешения в современных системах наблюдений используются в основном методы и способы вибрационного возбуждения. Технологии поочередного возбуждения сигналов (flip-flop), перекрываю-

щихся сигналов (slip-sweep), независимого возбуждения сигналов (ISS) и их комбинации существенно сокращают время возбуждения упругих волн и увеличивают скорость сбора сейсмических данных.

Поиск и разведка сложно построенных малоразмерных месторождений нефти и газа требуют от сейсморазведочных исследований технологических приемов, повышающих разрешающую способность метода. Развитие и совершенствование метода представляется в следующем: отказ от традиционного группирования источников и приемников с одновременным уменьшением интервалов между ними; использования точечного возбуждения без накапливания акустических сигналов и со сгущением линий приема и возбуждения. Специалисты в данной области понимают, что повышение горизонтальной и вертикальной плотности системы наблюдений в измерительной сети позволяет получить более четкое и разрешенное сейсмическое изображение подземных структур. В итоге это приводит к лучшей информационной обеспеченности принимаемых решений по поисковому бурению, что, соответственно, снижает инвестиционные риски нефтяных компаний.

Система сбора сейсмических данных в конкретной измерительной сети на объекте рассчитана на заданную проектом точность, детальность и глубинность исследований. Она может быть ограничена (и обычно так и есть) особенностями сейсмогеологического разреза среды, условиями про-



изводства работ, экологическими ограничениями и экономическими факторами. Технологические, методические приемы, снижающие стоимость исследований при заданной точности и детальности, повышают привлекательность такого подрядчика – исполнителя сейсморазведочных работ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. **Детков В. А., Зарипов С. М.** Повышение экономической эффективности сейсморазведочных работ на нефть и газ // Нефть. Газ. Новации. -2017. № 1. Точка доступа: http://neft-gaz-novacii.ru/ru/archive/96-2017/1673-01-2017.
- 2. **Ефимов А. С., Музыченко Б. И., Тузовский А. А.** Применение метода динамического аналога вертикального годографа для учета неоднородностей многолетнемерзлых пород // Технологии сейсморазведки. 2004. № 2. С. 30–34.
- 3. **Золотов А. Н., Тальвирский Д. Б., Гуров В. Н.** О кондициях структур при их подготовке к глубокому бурению сейсморазведкой в Лено-Тунгусской нефтегазоносной провинции // Геология нефти и газа. 1981. № 5. —С. 55—59.
- 4. **Исаев А. В., Умперович Н. В.** Геолого-геофизическая модель верхней части разреза на территории Катангской седловины Сибирской платформы // Геология и геофизика. 1985. № 2. С. 111—121.
- 5. **Казаис В. И., Черских В. И.** Анализ точности поисковой сейсморазведки в Тунгусской синеклизе // Геология нефти и газа. 1978. № 7. С. 50—57.
- 6. **Кондратьев О. К.** Автоматизированные системы оценки качества сейсмограмм и волновых разрезов ОГТ // Геофизика. 2002. Спецвыпуск. С. 3—12.
- 7. **Кочнев В. А., Гоз И. В.** Возможности гравиметрии и магнитометрии при интерпретации сейсмических данных // Геофизика. 2008. № 4. С. 28–33.
- 8. Кочнев В. А., Гоз И. В., Поляков В. С. Технология расчета плотностной и скоростной модели и статических поправок по гравиметрическим данным // Геофизика. 2014. \mathbb{N} 1. С. 2—7.
- 9. Кощук Е. П., Кощук Н. П., Конторович А. А. Корреляция рифейских отложений междуречья Ангары и Подкаменной Тунгуски по материалам сейсморазведки, бурения и ГИС // Геология и полезные ископаемые Красноярского края. Красноярск: КНИИГиМС, 1998. С. 106.
- 10. **Михайленко Б. Г.** Сейсмические поля в сложно построенных средах. Новосибирск, 1988. 312 с.
- 11. **Музыченко Б. И., Козырев В. С.** Способ учета скоростных неоднородностей в методе отраженных волн // Разведочная геофизика. 1970. Вып. 42. С. 12—17.
- 12. **Некоторые** методические особенности применения геофизического комплекса при изучении геологического строения Восточно-Сибирского региона / М. Ю. Смирнов, Г. Д. Ухлова, Е. В. Мосягин,

- В. Н. Беспечный // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. 2018. № 2. С. 65–76.
- 13. **Новые** данные о строении Туруханской зоны дислокаций на основе комплексной интерпретации речных сейсморазведочных работ и геологических маршрутов / А. С. Ефимов, М. Ю. Смирнов, Г. Д. Ухлова и др. // Геология и геофизика. 2017. Т. 58, № 3—4. С. 553—564.
- 14. **Основы** районирования Тунгусской синеклизы по суммарной толщине трапповых интрузий в нефтегазоперспективных отложениях В. С. Старосельцев, Т. А. Дивина, И. И. Муратов, Г. Ф. Попелуха // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. 2017. № 4. С. 34—39.
- 15. **Особенности** морфологии интрузивных траппов на территории Катангской седловины Сибирской платформы / А. В.Исаев, Ю. Я. Лыков, Н. В. Умперович, А. В. Хоменко // Геология и геофизика. 1988. № 1. С. 42—48.
- 16. **Пути** повышения эффективности сейсморазведочных работ в южных районах Сибирской платформы / М. М. Мандельбаум, А. И. Шамаль, Г. А. Бернштейн и др.// Геология нефти и газа. $1977. N ext{0} 6. C. 13 18.$

REFERENCES

- 1. Detkov V.A., Zaripov S.M. [Increasing the economic efficiency of seismic exploration for oil and gas]. *Neft. Gaz. Novatsii*, 2017, no. 1, pp. 14–19. Available at: http://neft-gaz-novacii.ru/ru/archive/96-2017/1673-01-2017. (In Russ.).
- 2. Efimov A.S., Muzychenko B.I., Tuzovskiy A.A. [Consideration of velocity heterogeneities using method of dynamic analogue of time-depth curve]. *Tekhnologii seismorazvedki Seismic Survey Technologies*, 2004, no. 2, pp. 30–34. (In Russ.).
- 3. Zolotov A.N., Talvirskiy D.B., Gurov V.N. [On the resource estimation parameters of structures in their preparation for deep drilling by seismic survey in the Lena–Tunguska petroleum province]. *Geologiya nefti i gaza Russian Oil and Gas Geology*, 1981, no. 5. (In Russ.).
- 4. Isaev A.V., Umperovich N.V. [Geological and geophysical model of the near-surface section on the territory of the Katanga saddle of the Siberian Platform]. *Geologiya i geofizika*, 1985, no. 2, pp. 111–121. (In Russ.).
- 5. Kazais V.I., Cherskikh V.I. [Accuracy analysis of prospecting seismic survey in the Tunguska syneclise]. *Geologiya nefti i gaza*, 1978, no. 7, pp. 50–57. (In Russ.).
- 6. Kondratyev O.K. [Automated systems for assessing the quality of seismograms and CDP wave sections]. *Geofizika Russian Geophysics*, 2002, Sp. issue, pp. 3–12. (In Russ.).
- 7. Kochnev V.A., Goz I.V. [Using gravity and magnetic surveys information while seismic data interpretation]. *Geofizika Russian Geophysics*, 2008, no. 4, pp. 28–33. (In Russ.).



- 8. Kochnev V.A., Goz I.V., Polyakov V.S. [A method of calculation of the density and velocity models and static corrections from gravimetric data]. *Geofizika Russian Geophysics*, 2014, no. 1, pp. 2–7. (In Russ.).
- 9. Koshchuk E.P., Koshchuk N.P., Kontorovich A.A. [Correlation of Riphean deposits between the Angara and Podkamennaya Tunguska rivers based on seismic survey, drilling and well logging data]. *Geologiya i poleznye iskopaemye Krasnoyarskogo kraya* [Geology and Mineral Resources of Krasnoyarsk Territory]. Krasnoyarsk, KNIIGGiMS Publ., 1998, p. 106. (In Russ.).
- 10. Mikhailenko B.G. *Seismicheskie polya v slozh-no postroennykh sredakh* [Seismic fields in complex media]. Novosibirsk, 1988, 312 p. (In Russ.).
- 11. Muzychenko B.I., Kozyrev V.S. [Correction method of the velocity inhomogeneities in reflection survey]. *Razvedochnaya geofizika*, 1970, p. 42. (In Russ.).
- 12. Smirnov M.Yu., Ukhlova G.D., Mosyagin E.V., Bespechnyy V.N. [Some methodological peculiarities of application of the geophysical complex in the study of the geological structure of the East Siberian region]. Geologiya i mineralno-syryevyye resursy Sibiri Geo-

- logy and mineral resources of Siberia, 2018, no. 2. pp. 65–76. (In Russ.).
- 13. Efimov A.S., Smirnov M.Yu., Ukhlova G.D., et al. New data on the structure of the Turukhan zone of deformation from the results of seismic survey and geological traverses. *Russian Geology and Geophysics*, 2017, vol. 58, no. 3–4, pp. 451–460.
- 14. Staroseltsev V.S., Divina T.A., Popelukha G.F., et al. [Dividing the Tunguska syneclise into regions based on the total thickness of trap intrusions in oil-and-gaspromising strata]. *Geologiya i mineralno-syryevyye resursy Sibiri Geology and mineral resources of Siberia*, 2017, no. 4, pp. 34–39. (In Russ.).
- 15. Isaev A.V., Lykov Yu.Ya., Umperovich N.V., Khomenko A.V. [Peculiar features of the intrusive traps morphology within the Katanga saddle territory of the Siberian Platform]. *Geologiya i geofizika*, 1988, no. 1, pp. 42–48. (In Russ.).
- 16. Mandelbaum M.M., Shamal A.I., Bernshtein G.A., et al. [Ways to improve the efficiency of seismic operations in the southern regions of the Siberian Platform]. *Geologiya nefti i gasa Oil and gas geology*, 1977, no. 6, pp. 13–18. (In Russ.).

© А. С. Ефимов, Е. В. Мосягин, 2021



УДК 550.834.05:(552.578.2.061.43:551.762)

ПОИСК ЗАЛЕЖЕЙ УГЛЕВОДОРОДОВ В ПОРОВО-ТРЕЩИННЫХ КОЛЛЕКТОРАХ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ ПРОНИ

С. Н. Смолин¹, Г. М. Митрофанов^{1,2,3}

¹ Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН, Новосибирск, Россия; ²Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия; ³Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск, Россия

Поиск неструктурных залежей углеводородов является сложнейшей задачей. Для ее решения требуется использование особых инструментов, таких как, например, технология Прони-фильтрации, которая позволяет осуществлять прямой качественный прогноз нефтегазоносных объектов на основе частотно-зависимого анализа интегрального волнового поля временных разрезов МОГТ. Кратко описана технология, показаны ее возможности и конкретные примеры применения. Исследования выполнены в пределах средне-верхнеюрского интервала терригенно-осадочных отложений (средний байос — берриас) на Западно-Сибирской плите с использованием сейсмического материала МОГТ 2D (3045 пог. км) и данных глубокого бурения 33 скважин. Приведены формы проявления в волновых полях Прони залежей нефти, пластовой воды, газа. Показаны случаи бесперспективности интервала исследования. Сформулированы поисковые признаки различного типа флюидов.

Ключевые слова: технология Прони-фильтрации, волновое поле, образы временных разрезов, нефтяная залежь, залежь пластовой воды, локальная динамическая аномалия, юрские пласты $\mathcal{O}_{2-\delta}$.

SEARCH FOR HYDROCARBON ACCUMULATIONS IN POROUS FRACTURED RESERVOIRS USING THE PRONY TECHNOLOGY

S. N. Smolin¹, G. M. Mitrofanov²

¹A.A.Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, Novosibirsk, Russia; ²Novosibirsk State University⁻ Novosibirsk, Russia, ³Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russia

The search for nonstructural hydrocarbon accumulations is a Herculean task that requires the use of delicate tools. Such tools include the Prony filtration technology. It allows for direct qualitative forecasting of hydrocarbon bearing features based on frequency-dependent analysis of the observed wave field of CDP reflection-time sections and includes four steps. The article shows capabilities of technology and specific examples of its application by correlation of frequency-dependent Prony images of wave fields with deep drilling data. The performed studies were carried out using CDP 2D seismic data and deep drilling data of 32 wells obtained in the territory of the West Siberian Plate, mainly for the Middle Jurassic (Late Bajocian-Bathonian, Malyshev horizon) interval of terrigenous-sedimentary deposits. At times, the underlaying and overlying Middle and Upper Jurassic deposits were captured. The manifestation forms of various oil and stratum water accumulations and their possible prospecting indicators, as well as signs of the absence of reservoirs are given. As an example, the manifestation and possible prospecting indicators of gas accumulation from a neighboring region within the West Siberian Plate are shown.

Keywords: Prony filtration technology, wave field, images of reflection-time sections, oil accumulation, stratum water accumulation, local dynamic anomaly, Yu_{2-4} Jurassic reservoirs.

DOI 10.20403/2078-0575-2021-1-74-87

Данная статья является продолжением публикации «Проблема обнаружения неструктурных нефтегазоносных объектов по данным сейсморазведки» [6]. Основная задача — показать на практических примерах возможности использования предлагаемой технологии прямого качественного прогноза залежей углеводородов по сейсморазведочным данным МОГТ. Упор при подобном прогнозе делается на частотно-зависимом динамическом анализе волнового поля временных разрезов МОГТ-2D посредством использования особенностей Пронифильтрации.

Статья основана на сопоставлении частотно-зависимых образов волновых полей Прони и данных глубокого бурения по 33 скважинам. Интервал исследований включал в основном верхне-среднеюрские продуктивные терригенно-осадочные отложения среднебайос-берриасского возраста Западно-

Сибирской плиты. Для исследования использовался материал сейсморазведочных работ МОГТ-2D м-ба 1:50 000 объемом 3045 пог. км, полученный производственными сейсморазведочными партиями ОАО «Хантымансийскгеофизика» и ОАО ЦГЭ (Новосибирск) в пределах Пограничного, Северо-Комариного, Верхнелумкойского, Нижнелумкойского, Лумкойского и Таньягского участков недр. В административном отношении территория исследования расположена в Уватском районе Тюменской области вблизи границы с Ханты-Мансийским автономным округом.

Краткое геологическое строение и перспективы нефтегазоносности

Согласно «Тектонической карте центральной части Западно-Сибирской плиты» (под ред. В. И. Шпильмана, Н. И. Змановского, Л. Л. Подсосо-

No 1(45) ◆ 202

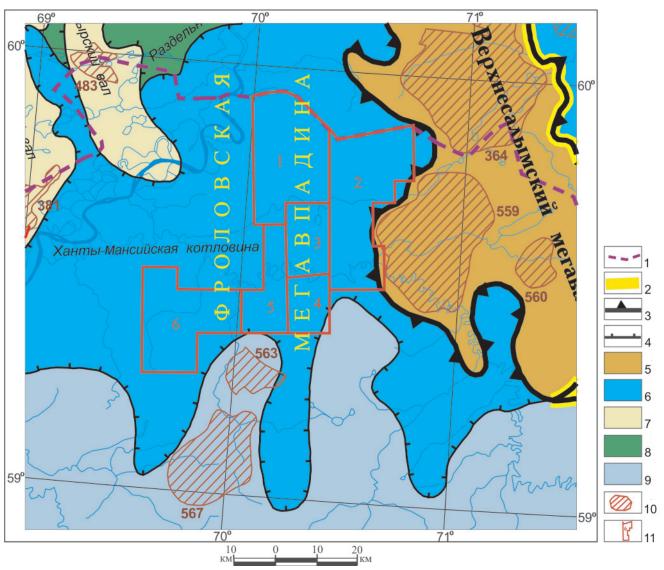


Рис. 1. Фрагмент «Тектонической карты центральной части Западно-Сибирской плиты» (под ред. В. И. Шпильмана, Н. И. Змановского, Л. Л. Подсосовой, 1998 г.)

1 — административная граница Ханты-Мансийского автономного округа; 2 — границы геоблоков; тектоническое строение мезозойско-кайнозойского чехла: 3 — границы тектонических элементов I порядка; 4 — границы внутреннего районирования тектонических элементов I порядка; надпорядковые и I порядка структуры нерайонированные: 5 — своды и мегавалы, 6 — мегапрогибы, мегавпадины; внутреннее районирование надпорядковых и I порядка структур: 7 — валы, 8 — седловины, 9 — моноклинали, 10 — открытые месторождения нефти, газа и конденсата (313 — Ямское, 364 — Верхнесалымское, 381 — Зимнее, 483 — Ендырское, 540 — Кондинское, 559 — Северо-Демьянское, 560 — Нижнекеумское, 563 — Северо-Кальчинское, 567 — Кальчинское); 11 — участки недр (1 — Пограничный, 2 — Северо-Комариный, 3 — Верхнелумкойский, 4 — Нижнелумкойский, 5 — Лумкойский, 6 — Таньягский)

вой, 1998 г.) изучаемая площадь находится в южной части Ханты-Мансийской котловины, осложняющей на юге Фроловскую мегавпадину. На востоке и северо-востоке котловина граничит со структурой І порядка — Верхнесалымским мегавалом, с юга к ней примыкает северное окончание Южной Бортовой моноклинали (рис. 1).

Исследуемый интервал разреза охватывает отложения тюменской, абалакской и баженовской свит.

Отложения нижней подсвиты тюменской свиты, включающие пласты Θ_{7-9} , представлены тонким и грубым переслаиванием глинистых и песчано-алевритовых пород, которые формировались

в континентальных пойменно-озерно-аллювиальных условиях с широким развитием фации торфяных болот.

Породы средней подсвиты тюменской свиты, включающие пласты Θ_{5-6} , накапливались в условиях переходных фаций (от континентальных пойменноозерно-аллювиальных к бассейновым). Характерно неравномерное чередование глин с алевролитами. Отмечены прослои углей. Во время формирования этих отложений появились водные артерии (реки) среднего и крупного ранга (типа Палеоиртыша и Палеодемьянки).

Образование верхней подсвиты тюменской свиты, включающей пласты Θ_{2-4} , связано с обшир-



ной трансгрессией моря с севера в позднебайос-батское время. На территории исследования существовала преимущественно мелководно- и прибрежно-морская обстановка осадконакопления [4]. Отложения формировались в условиях растущих структур, что существенно повлияло на изменение мощности и литологии по латерали. Они полифациальны, не выдержаны по вертикали и латерали, имеют сложное литологическое строение, осложненное резкими колебаниями эффективной мощности в пределах 5–20 м при мощности каждого отдельно взятого пласта до 30–35 м. Отмечается линзовидное строение за счет разделяющих их глинистых флюидоупоров.

Коллекторские свойства пластов Ю_{2–4} относительно низкие. Пористость обычно не превышает 16 %, проницаемость варьирует от 0,05 до 20 мД. В керне часто наблюдаются разнонаправленные открытые полые трещины.

Отложения абалакской свиты представлены морскими аргиллитами, которые являются региональной покрышкой для залежей нефти в пластах Θ_{2-4} . Мощность в пределах территории исследования 50–57 м. В керне отмечаются разнонаправленные трещины, залеченные кальцитом. Коллекторские свойства определены по ГИС в скв. СК110 (пласты Θ_{1-1}): открытая пористость 14,0–17,1%; проницаемость 0,59–8,13 мД.

Образования баженовской свиты представлены черными аргиллитами с буроватым оттенком, битуминозными, плотными, крепкими, тонко- и грубоплитчатыми, участками трещиноватыми. Аргиллиты нижней части баженовской свиты в основном разуплотнены и трещиноваты. Встречаются прослои алевролитов, разбитых на обломки. Коллекторские свойства изучены на запарафинированных кернах: открытая пористость 9,5 %, проницаемость 3,2 мД, плотность 2,15 г/см³.

В исследуемом районе регионально нефтегазоносны алеврито-песчаные пласты Ю₂₋₄. В ряде производственных отчетов ЦГЭ (Новосибирск), а также в статье Е. С. Таффарель и др. [7] рассматривался вопрос их нефтегазоносности на основе комплексного анализа литолого-петрографических, геохимических данных глубокого бурения и структурных литолого-фациальных построений по отражающим горизонтам юрского разреза. Предполагается, что наибольшая мощность пластов и наиболее песчаная фракция накапливалась на склонах подводных локальных поднятий (Вареягского, Комариного и др.) в связи с тем, что своды подводных поднятий размывались и разрушались морскими волнениями и течениями из-за режима осадконакопления при растущих структурах. Алеврито-песчаный материал переотлагался и накапливался на склонах поднятий, а более крупный материал переотлагался в нижней части склонов, что благоприятствовало формированию ловушек неструктурных типов на склонах подводных поднятий [8]. В результате ловушки

в пластах Θ_{2-4} обычно представляют собой сложно построенные резервуары, сравнительно плохо проницаемые как в вертикальном, так и в латеральном направлениях. Исследования показали, что по степени перспективности формирования скоплений УВ выделяются зоны двух типов.

Зоны первого типа можно рассматривать как наиболее перспективные. Расположены они в пределах депрессий между Комариным, Вареягским, Нижнелумкойским локальными поднятиями, где развиты преимущественно структурно-литологические и литологические ловушки, которые обладают наиболее благоприятными условиями для формирования нефтяных залежей. Открытые в этом районе залежи нефти составляют 80 % от общей суммы извлекаемых запасов УВ в изучаемом районе [7].

Зоны второго типа менее перспективные. В их пределах развиты ловушки структурного типа, характерные для малоамплитудных локальных поднятий (Южно-Нюрымское) и структурных носов. Запасы УВ в залежах, открытых на структурных носах, составляют 14 % от общей суммы извлекаемых запасов на территории исследования, на локальных поднятиях — 6 % [7].

Важную роль в создании залежей УВ на исследуемой территории играют зоны локальной трещиноватости. Они формируют емкие и достаточно хорошо проницаемые коллекторы поровотрещинного или трещинно-порового типа. Определение подобных локальных зон – трудная задача, так как сложно выявить признаки их наличия. Необходим соответствующий инструмент. Одним из путей решения проблемы поиска нефтегазоносных объектов, связанных с порово-трещинными и трещинно-поровыми коллекторами, может быть частотно-зависимый анализ интегрального волнового сейсмического поля МОГТ с уходом на высокие частоты рабочего диапазона сейсморазведки, которые значительно более чувствительны к целевым неоднородностям в изучаемой среде, чем низкие и средние частоты.

Технология Прони-фильтрации

Эффективным направлением интерпретации интегрального волнового поля и прогнозирования геологического разреза с целью поисков нефтегазоносных объектов может быть частотно-зависимый анализ волнового поля по технологии Пронифильтрации. Технология основана на разложении Прони — возможности представления какого-либо колебания рядом экспоненциально затухающих гармоник [2]. Для сейсмических данных существуют несколько версий реализации разложения и фильтрации Прони, которые появились в конце 1990-х гг. [1, 3]. Нами использовалась версия Г. М. Митрофанова и др., основные положения которой изложены в статьях [3, 5]. В работе [3] приведена полная библиография публикаций на эту тему до 2011 г.



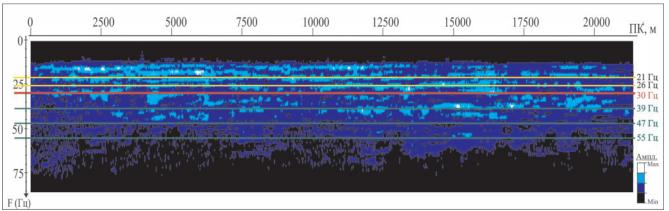


Рис. 2. Пример амплитудно-частотного спектра по профилю МОГТ, полученного с помощью разложения Фурье

Процедура фильтрации Прони способна выделять из интегрального волнового поля достаточно узкие диапазоны частот (4—16 Гц) без искажения, что достаточно для выявления резервуаров и эффектов от скоплений в них различного рода флюидов. Для данной технологии характерна некритичность к качеству сейсморазведочного материала и наличию данных глубокого бурения. Временные разрезы Прони, получаемые в рамках технологии, способны отображать форму ловушки, качество покрышки, тип флюида. Процедура Прони-фильтрации к настоящему времени разработана для метода МОГТ в модификации 2D. При анализе данных в модификации 3D используются соответствующие выборки по инлайнам и кросс-лайнам.

Технология Прони-фильтрации достаточно проста и включает четыре шага.

Первый шаг – предварительный спектральный анализ. Задачей этого этапа является оценка амплитудно-частотного спектра волнового поля и выделение наиболее характерных по своей стабильности или изменчивости гармонических компонент в пределах анализируемого профиля. Работа проводится по амплитудно-частотным спектрам, полученным с помощью разложения Фурье по выбранной серии тестовых профилей. По горизонтали каждого профиля идут трассы ОГТ, по вертикали – значения частот с увеличением вниз, цвет показывает значение амплитуды: чем он ярче, тем выше амплитуда. Один из примеров реальных данных показан на рис. 2. Весь спектр условно можно разделить на две части. Первая часть соответствует интервалу частот от 12 до 30 Гц и характеризуется повышенными и устойчивыми амплитудами. По этому интервалу можно судить о влиянии поверхностных условий на динамику волнового поля. Здесь выбираются 1-2 наиболее устойчивые частоты. Вторая часть спектра соответствует интервалу от 30 Гц и выше, ей свойственны главным образом неустойчивые амплитуды и пониженные энергии. Этот интервал содержит основную полезную информацию о неоднородности разреза и наличии нефтегазоносных объектов. В нем выбирается от двух до восьми значений наиболее устойчивых частот.

Второй шаг – подбор параметров процедуры Прони-фильтрации. Работа продолжается по тестовым профилям с помощью специальной тестовой программы. Общая стратегия подбора заключается в выборе параметров Прони-фильтрации: Δτ – длина временного интервала оценки параметров Прони, $\Delta \alpha$ — интервал параметра затухания, f — ширина полосы частот. Они должны обеспечивать наибольшую устойчивость зон максимальной и минимальной интенсивности волнового поля на получаемых временных разрезах Прони, а также при необходимости – наилучшее разрешение для целевых объектов по каждой из отобранных на первом шаге частот. В процессе этого осуществляется отбраковка выбранных ранее частот с целью оптимального их количества. Как правило, в результате число анализируемых частот сокращается до 1-2 для первого и 2-5 для второго интервалов частот. Процесс подбора параметров фильтрации неформальный и неавтоматический.

Третий шаг – обработка сейсмических данных изучаемого района и картирование для обработки всего объема сейсмического материала изучаемого района с подобранными параметрами процедуры Прони-фильтрации на втором шаге и визуализация полученных временных разрезов. Последнее возможно двумя способами. Первый способ более трудоемкий, но наиболее предпочтительный – получение временного разреза, показывающего изменение амплитуд после процедуры Прони-фильтрации с наложенным в фоновом режиме параметром затухания. Этот тип разреза в дальнейшем будет называться временным разрезом Прони. Он наиболее чувствителен к изменению сейсмических характеристик среды. Второй способ – получение временного разреза мгновенных амплитуд после процедуры Прони-фильтрации. На рис. 3 приведено сравнение способов визуализации по информационной частоте 52 Гц.

При необходимости осуществляется построение карт по динамическим атрибутам (или их комбинации) целевого отражающего горизонта после процедуры Прони-фильтрации для оценки в дальнейшем возможности выявления целевых объектов в площадном варианте. По имеющемуся опыту са-



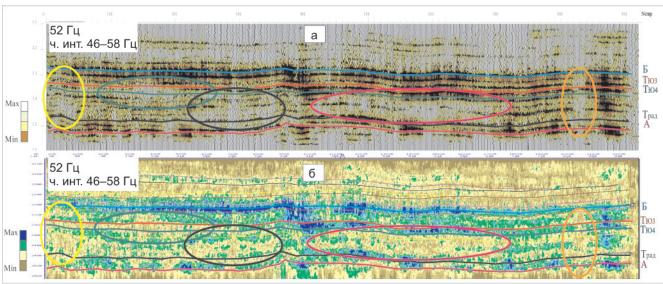


Рис. 3. Примеры вариантов визуализации временных разрезов после процедуры Прони-фильтрации на информационной частоте 52 Гц в частотном интервале 46–58 Гц: а – разрез амплитуд с наложением в фоновом режиме параметра затухания; б – разрез мгновенных амплитуд

мый информативный и устойчивый динамический атрибут волнового поля Прони – интервальная энергия. Но интерес могут представлять и другие атрибуты сейсмической записи, например, экспоненциальное затухание, степень когерентности между соседними трассами и др., а также комплексные параметры. Выбор комбинаций зависит от исходных данных и задач, которые должны быть решены.

Четвертый шаг – анализ и выделение на временных разрезах Прони и картах динамических атрибутов локальных аномальных зон, соответствующих целевым нефтегазоносным объектам, и задание точек заложения рекомендуемых глубоких скважин. Практически всегда важен визуальный анализ волнового поля временных разрезов после процедуры Прони-фильтрации на всех выбранных полосах частот, что обеспечивает большее понимание строения целевых объектов и вмещающей их среды. Так, например, наличие залежи УВ обычно проявляется на высоких частотах в виде локальной аномалии понижения амплитуд и повышения затухания [6]. Короткий по времени и устойчивый по латерали сильный отклик на этих же частотах типичный признак хорошей покрышки резервуара [10]. Кроме того, более хорошая визуальная разрешенность разрезов Прони на высоких частотах посравнению с интегральным волновым полем дает возможность изучать детали сложных объектов, например, области выклинивания пластов [9].

Результаты применения технологии Прони-фильтрации

Для обработки сейсмического материала по технологии Прони-фильтрации выбран временной интервал t_0 = 2,1—2,6 с, включающий нижнюю часть нижнемеловой толщи, юрскую и верхнюю часть доюрской. Подобранные параметры Прони-разложения приведены в таблице. Различия в значениях

параметров разных территорий связаны с различиями в сейсмогеологических условиях проведения сейсморазведочных работ и в графах обработки полевых сейсмограмм для получения интегрального волнового поля.

Оптимальны для решения поставленных задач в основном частоты 39, 47 и 52 Гц. Дополнительно для принятия решения в неоднозначных ситуациях использовались частоты 61 и 63 Гц. Частота 25 Гц служила для оценки влияния поверхностных условий возбуждения и приема упругих колебаний. Для анализа волнового поля использовались два типа визуализации временных разрезов после процедуры Прони-фильтрации по наиболее информативным профилям: разрезы Прони и мгновенных амплитуд.

Параметры фильтрации Прони подбирались для временных разрезов МОГТ по профилям, номера которых начинались с цифр 85, 86, 120. Граф обработки изучаемого сейсмического материала однотипный. В дальнейшем выбранные параметры фильтрации Прони применялись не только к временным разрезам по указанным профилям, но и к профилям, начинающимися с цифры 126, временные разрезы по которым получены с другим графом обработки. Для последних параметры фильтрации Прони оказались неоптимальными, что приводило иногда к неоднозначности в выделении локальных динамических аномалий. Этот опыт показывает влияние применяемого графа обработки на параметры Прони-фильтрации.

Структурная карта по отражающему горизонту $T_{\rm Ю3}$ (кровля пласта ${\rm Ю_3}$, тюменская свита), используемая в рисунках далее, в отличие от структурной карты из статьи [7] построена по результатам переинтерпретации геолого-геофизических материалов на территории Комариного, Лумкойского и Таньягского лицензионных участков, выполненной в ОАО



ЦГЭ (Новосибирск, 2007 г.). Для удобства изложения имеющегося материала территория исследования разделена на участки.

Участок 1 охватывает центральную часть Северо-Комариного участка недр (рис. 4). Здесь пробурен куст из четырех глубоких скважин К94, К941, К943, К944 в северо-западной части Комариного локального поднятия. Последние три скважины являются

наклонными и строились из точки «забуривания» скв. К94. В пределы участка попадают три локальных поднятия, находящиеся на структурном носе: Комариное, Малое Комариное, Среднекомариное.

В скв. К94 открытая пористость песчаников пласта Θ_4 10,5—15,4 %, проницаемость 0,9—7,35 мД; пласта Θ_3 — 12,1—13,1 % и 0,38—1,0 мД соответственно. Тип коллекторов в пластах Θ_{2-3} оценивается как

Параметры разложения Прони

Временной интервал, с	Частота, Гц	Т, с	<i>f,</i> Гц	Δα	Тип частоты					
Пограничный участок недр, ПР 120030010										
2,1-2,6	21	0,12	0,12 4		Базовая					
	47	0,064	12	250	Информационная					
	55	0,056	12	300	«					
Северо-Комар	оиный, Верхнелум	ткойский, <i>Ниж</i>	нелумкойский,	Лумкойский,	Таньягский участки недр					
2,1-2,6	25	0,12	4	60	Базовая					
	39	0,076	4	150	Информационная					
	52	0,058	12	250	«					
	61	0,048	16	300	«					
	Te	евризский учас	ток недр, ПР 1	25030030						
1,7-2,1	27	0,112	4	90	Базовая					
	40	0,076	6	150	Информационная					
	54	0,056	10	250	«					
	75	0,04	18	300	«					
	84	0,036	20	300	«					

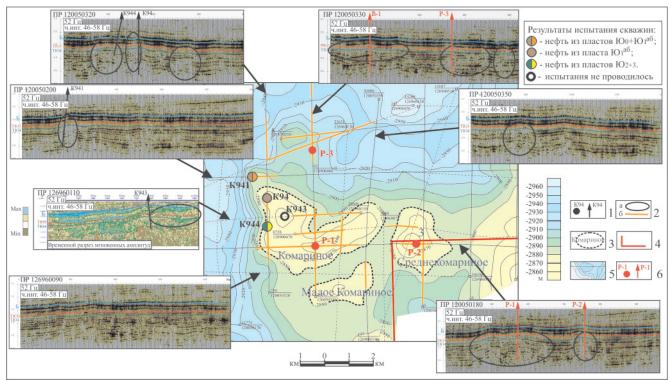


Рис. 4. Динамические особенности волновых полей временных разрезов Прони и мгновенных амплитуд после фильтрации Прони (центральная часть Северо-Комариного участка недр) на участке 1

1 – пробуренная глубокая скважина и ее номер; 2 – зона, перспективная на обнаружение нефтяной залежи (а) и ее проекция на линию профиля (б); 3 – локальное поднятие; 4 – граница участка недр; 5 – структурная карта по отражающему горизонту T_{103} , стратиграфически привязанному к кровле пласта Θ_3 (верхняя часть тюменской свиты); 6 – рекомендуемая скважина и ее номер



трещинно-поровый и поровый, при испытании которых притока флюидов не получено («сухо»). При испытании отложений абалакской свиты (пласт Θ_1^{a6}) получен приток нефти 6,1 м³/сут при депрессии 6,03 МПа. В скв. К944 при испытании в пластах Θ_{2-3} получен приток нефти дебитом 3,522 м³/сут при депрессии 23,5 Мпа, в скв. К941 при испытании в пласте Θ_1^{a6} – 3,6 м³/сут при депрессии 13,25 МПа, в пласте Θ_0 – 5,0 м³/сут при депрессии 10,19 МПа.

Район вблизи пробуренных скважин характеризуют фрагменты временных разрезов по профилям 120050200, 120050320, 126960110 (см. рис. 4). На временных разрезах Прони в основном отмечаются непротяженные слабо выраженные локальные аномалии пониженных амплитуд и повышенного затухания. Их выделение и оконтуривание не всегда уверенное, что, вероятно, можно объяснить слабой концентрацией углеводородов. Подобные аномалии отмечаются и на временных разрезах Прони по сопредельным профилям (см. рис. 4), что позволяет судить о расположении этой нефтяной залежи в пространстве.

Судя по форме записи волнового поля Прони, участок 1 еще недостаточно исследован. Наиболее удачной точкой заложения глубокой скважины с уче-

том вскрытия имеющейся залежи нефти в пределах Комариного локального поднятия (что подтверждено испытанием в скв. К944) представляется район пересечения профилей 120050180 и 120050330, где рекомендуется заложение скв. Р-1 (см. рис. 4). Кроме того, перспективно Среднекомариное локальное поднятие, где рекомендуется заложение скв. Р-2. Еще одну скв. Р-3 рекомендуется пробурить на структурном носе к северу от Комариного локального поднятия. Судя по выделенным динамическим аномалиям на временных разрезах после фильтрации Прони, здесь, видимо, находится еще одна нефтяная залежь. Возможность вскрытия залежи нефти в пределах Малого Комариного локального поднятия неясна, так как локальные динамические аномалии на этом участке выделяются неоднозначно из-за того, что параметры процедуры Прони-фильтрации для временных разрезов по двум профилям (ПР 126960090 и 126960120) подобраны не оптимально.

Участок 2 охватывает северную часть Лумкойского, западную часть Северо-Комариного и южную часть Пограничного участков недр (рис. 5). Здесь пробурены четыре глубокие скважины, из которых две оказались продуктивными. В пределах участка 2 находится Лумкойская впадина, на бортах которой

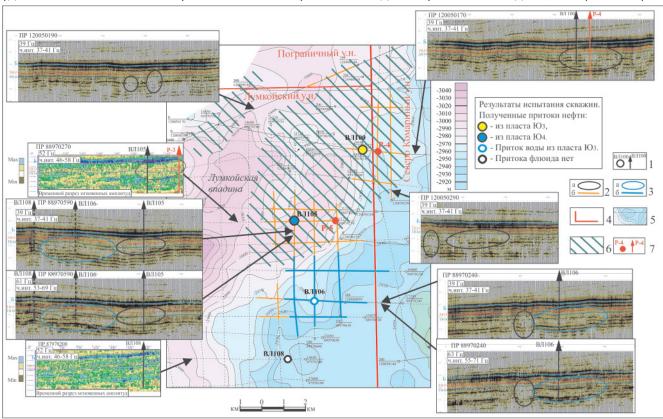


Рис. 5. Динамические особенности волновых полей временных разрезов Прони и мгновенных амплитуд после фильтрации Прони (северная часть Лумкойского, западная часть Северо-Комариного, южная часть Пограничного участков недр) на участке 2

1 – пробуренная глубокая скважина и ее номер; зоны: : 2 – перспективная на обнаружение нефтяной залежи (a) и ее проекция на линию профиля (б), 3 – с признаками пластовой воды в пласте Θ_3 (a) и ее проекция на линию профиля (б); 4 – граница участка недр; 5 – структурная карта по отражающему горизонту T_{Θ_3} , который стратиграфически привязан к кровле пласта Θ_3 (верхняя часть тюменской свиты); 6 – перспективная зона на обнаружение залежей углеводородов в пластах Θ_{2-4} , определенная на основе комплексного анализа сейсмических, литолого-петрографических и геохимических данных глубокого бурения [7]; 7 – рекомендуемая скважина и ее номер



расположены зоны накопления баровых отложений, перспективных на обнаружение залежей углеводородов в пластах Θ_{2-4} [7]. Для более уверенной интерпретации выделенных динамических аномалий в волновых полях по возможности для одного и того же профиля приведены временные разрезы по двум разным информационным частотам.

Район скв. ВЛ100. Для пласта Θ_2 открытая пористость, определенная по ГИС, колеблется от 9,9 до 13,9 %, проницаемость — от 0,04 до 1,14 мД. В пласте Θ_2 вскрыта нефтяная залежь структурнолитологического типа. В результате испытания получен приток нефти дебитом 3 м³/сут при депрессии 15,65 МПа. Предполагается преобладание поровотрещинных коллекторов, но с низкими ФЕС (5–6 классов проницаемости по А. А. Ханину).

Район скважины характеризуется фрагментом временного разреза Прони по профилю 120050170. Скважина пробурена в пределах локальной аномалии пониженных значений амплитуд и повышенного затухания, верхняя граница которой имеет выгнутую вверх форму, проявляющуюся по субширотному профилю 120050170 и субмеридиональному профилю 120050290 (см. рис. 5). Подобная форма динамической аномалии встречалась на временном разрезе Прони по профилю 120030010 в районе скважин ВЮ4 и ВЮ13 [6]. Краевые части аномалии понижаются, захватывая и пересекая часть юрских отложений. Сверху и снизу выделенной динамической аномалии отмечаются отражающие горизонты высокой интенсивности, позволяющие предполагать здесь наличие плотных отложений, практически не имеющих коллекторов. Судя по аномалии, можно судить о площади распространения нефтяной залежи, вскрытой скв. ВЛ100. Оптимальной точкой бурения скважины может служить пересечение профилей 120050170 и 126950020, где рекомендуется заложение скв. Р-4.

Район скважин ВЛ105 и ВЛ106. В скв. ВЛ105 при испытании в колонне инт. 3095,5—3104 (пласт Θ_4) получен приток нефти дебитом 4,28 м³/сут при депрессии 17,39 МПа, пласта Θ_3 — приток пластовой воды дебитом 0,7 м³/сут при депрессии 15,42 МПа. В скв. ВЛ106 при испытании пласта Θ_3 получена пластовая вода с ФБР дебитом 9,64 м³/сут при депрессии 14,33 МПа, пласта Θ_4 — «сухо».

Район скв. ВЛ105 характеризуется фрагментами временного разреза мгновенных амплитуд по профилю 88970270 и временного разреза Прони по профилю 88970590. Район скв. ВЛ106 характеризуется фрагментами временных разрезов по профилю 88970240. Судя по временным разрезам Прони в частотном интервале 37—41 Гц (см. рис. 5), скважины находятся в пределах обширной динамической аномалии, которую можно разделить на две части.

Северная часть аномалии при увеличении частот продолжает хорошо выделяться и незначительно расширяется. Этот эффект волнового поля характерен для нефтяной залежи. Судя по испытаниям скв. ВЛ105, эта залежь нефти находится в пласте Θ_4 .

Наиболее удачной точкой ее вскрытия предполагается пересечение профилей 88970270 и 88970630, где, судя по структурной карте по отражающему горизонту T_{103} , кровля залежи гипсометрически находится на более высоком уровне, чем в скв. ВЛ105 (примерно на 20 м). В этой точке рекомендуется заложение скв. Р-5 (см. рис. 5). Следует отметить, что в районе скв. ВЛ105 динамическая аномалия захватывает интервал разреза выше пласта Θ_3 , что позволяет предполагать возможность наличия залежи флюидов и в пласте Θ_2 . Но испытания в данном интервале разреза не проводилось.

Для южной части аномалии характерна реакция волнового поля Прони на различных частотах на залежь пластовой воды, судя по испытаниям скв. ВЛ106 (пласт Ю₃). Особенно хорошо видна эта реакция на временных разрезах Прони по субширотному профилю 88970240, который проходит через указанную скважину (см. рис. 5). В частотном диапазоне 37–41 Гц однозначно выделяется динамическая аномалия, характеризующаяся понижением интенсивности и повышением затухания амплитуд; на более высоких частотах ее проявление ухудшается или полностью теряется в отличие от реакции на нефтяную залежь.

К западу от скв. ВЛ106 в пределах обширной целевой аномалии волнового поля в частотном интервале 37–41 Гц выделяется еще один небольшой участок, в пределах которого поведение волнового поля сходно с реакцией на залежь нефти в пластах Ю₂₋₄. Но рекомендовать бурение скважины в пределах этого участка, по мнению авторов, рано. Необходимы дополнительные сейсморазведочные работы.

Район скв. ВЛ108. Здесь при испытании интервала разреза, включающего пласты Θ_1 и Θ_{2-3} , получены либо незначительные притоки воды, либо «сухо».

Этот район характеризует фрагмент временно́го разреза мгновенных амплитуд по профилю 87970200, на котором нет признаков наличия аномалий понижения мгновенных амплитуд, в том числе и в районе указанной скважины.

Участок 3 охватывает юго-восточную часть Лумкойского и южную часть Нижнелумкойского участков недр (рис. 6). Участок недостаточно изучен глубоким бурением: пробурены лишь две глубокие скважины НЛ99 и ЗЛ96. Для более уверенной интерпретации выделенных динамических аномалий в волновых полях, по возможности для одного и того же профиля, приведены временные разрезы по двум разным информационным частотам.

Район скв. НЛ99. По интерпретации данных ГИС наибольший интерес представляют отложения пласта Ю₅. При общей его мощности 13 м эффективная мощность достигает 11 м, а доля песчаников и крупнозернистых алевролитов − 5 м. Открытая пористость 9,2−12,4 %; проницаемость 0,08−0,25 мД. В результате испытания из этого интервала разреза получен приток нефти дебитом 4,09 м³/сут при депрессии 13,3 МПа.



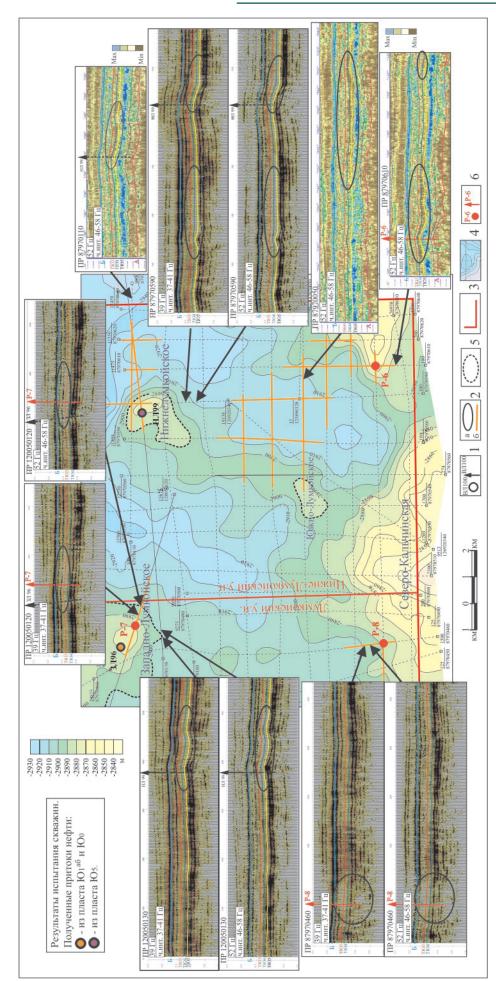


Рис. 6. Динамические особенности волновых полей временны́х разрезов Прони и мгновенных амплитуд после фильтрации Прони на участке 3 (юго-восточная часть Лумкойского и южная часть Нижнелумкойского участков недр)

Усл. обозн. см. на рис. 4



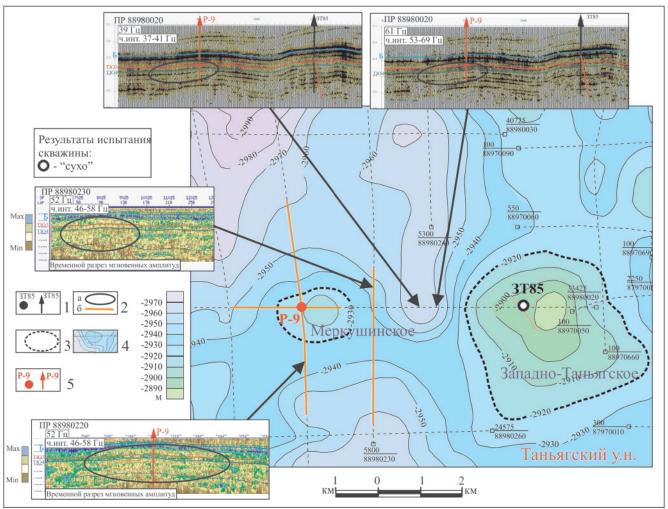


Рис. 7. Динамические особенности волновых полей временных разрезов Прони и мгновенных амплитуд после фильтрации Прони на участке 4 (восточная часть Таньягского участка недр)
Усл. обозн. см. на рис. 4

Согласно представленной структурной карте и временным разрезам (см. рис. 6), скв. НЛ99 пробурена в пределах Нижнелумкойского поднятия в западной части локальной целевой динамической аномалии пониженных значений амплитуд и повышенного затухания, охватывая отражения от пластов Θ_{2-4} и Θ_5 . Ниже отмечаются отражения высокой интенсивности, позволяющие предполагать здесь плотные отложения, практически не имеющие коллекторов. Судя по положению динамической аномалии на временных разрезах, нефтеперспективным может оказаться и интервал пластов Θ_{2-4} , где испытание в данной скважине не проводилось. По этой аномалии можно судить о площади распространения нефтяной залежи, вскрытой скв. НЛ99.

Южнее скв. НЛ99 на временных разрезах после процедуры Прони-фильтрации выделяется аналогичная локальная динамическая аномалия, охватывающая отражения от пластов Θ_{2-4} и Θ_5 , где высока вероятность вскрытия нефтяной залежи. На наиболее гипсометрически приподнятом участке в пределах этой аномалии рекомендуется бурение глубокой скв. Р-6.

Район скв. 3Л96. При испытании интервала отложений абалакской и баженовской свиты получены незначительные притоки нефти. Район характеризуется фрагментами временных разрезов Прони на информационных частотах 39 и 52 Гц по профилям 120050120 и 87970460. Сама скважина наклонная. Точка пересечения ствола скважины с кровлей пласта Ю₃ незначительно смещена по отношению к профилю 120050120. На временных разрезах Прони по этому профилю выделяется незначительно выраженная динамическая аномалия, характерная для реакции на нефтяную залежь, которая включает отражения от отложений верхов тюменской (пласты Θ_{2-3}), абалакской свит и низов баженовской. В начале профиля 120050130 выделяются следы подобной аномалии в волновом поле на информационной частоте 39 Гц, но они очень слабые, а потому не отмечены. Ниже выделенной аномалии представлены отражения высокой интенсивности, позволяющие предполагать здесь наличие плотных отложений, практически не имеющих коллекторов. Возможно, скважину следовало бурить на 1000 м юго-восточнее по профилю, где выраженность динамической аномалии на временном разрезе Прони с информационной частотой 39 Гц наиболее хорошо проявлена. Здесь рекомендуется бурение глубокой скв. Р-7.



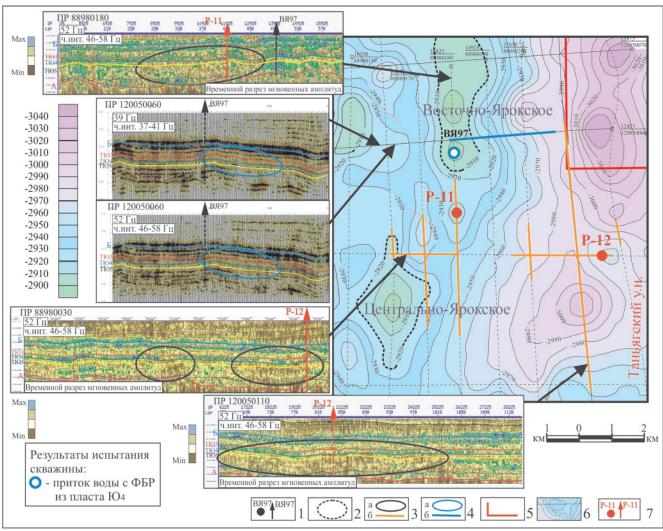


Рис. 8. Динамические особенности волновых полей временных разрезов Прони и мгновенных амплитуд после фильтрации Прони на участке 5 (северная часть Таньягского участка недр)

Усл. обозн. см. на рис. 4

На юго-западе рассматриваемого участка (см. рис. 6) на временных разрезах Прони в начале профиля 87970460 уверенно выделяется, особенно на информационной частоте 39 Гц, локальная динамическая аномалия, интерпретируемая как характерная реакция волнового поля Прони на нефтяную залежь. Здесь рекомендуется бурение глубокой скв. Р-8.

Участок 4 охватывает восточную часть Таньягского участка недр (рис. 7). Здесь пробурена скв. ЗТ85. Результат интерпретации ГИС целевого интервала (пласты Ю₂₋₄) — «сухо». Испытание интервала разреза, включающего отложения абалакской и баженовской свит, дали незначительные притоки воды. Район скважины характеризуется фрагментами временных разрезов Прони на информационных частотах 39 и 61 Гц по профилю 88980020. Ствол скважины прошел по интенсивным отражениям волнового поля разрезов Прони по соседству с западной границей малого пятна, представляющего собой незначительную динамическую аномалию. Западнее скважины в волновом поле мгновенных амплитуд субмеридиональных

профилей 88980220 и 88980230, секущих субширотный профиль 88980020, отмечаются хорошо выраженные аномалии пониженных значений мгновенных амплитуд, указывающие на возможность существования нефтяной залежи. На профиле 88980020 (см. рис. 7) в волновом поле с информационной частотой 39 Гц на пересечении с профилем 88980220 отмечается незначительная целевая динамическая аномалия, которая на информационной частоте 61 Гц расширяется и выражена лучше. Слабый эффект проявления аномалии на субширотном профиле по сравнению с субмеридиональными можно объяснить анизотропией среды, связанной, например, с трещиноватостью с преимущественно субширотной ориентацией плоскостей трещин. Рекомендуется бурение глубокой скв. Р-9 на пересечении профилей 88980020 и 88980220.

Участок 5 охватывает северную часть Таньягского участка недр (рис. 8). Здесь пробурена скв. ВЯ97. Испытания интервала разреза, включающего отложения баженовской и абалакской свит, показали «сухо», а интервала, включающего отло-



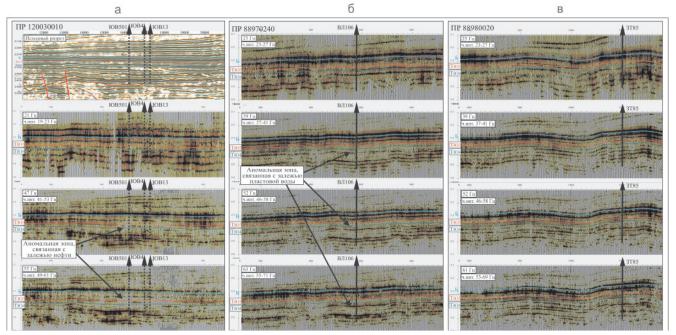


Рис. 9. Частотно-зависимая реакция волновых полей временных разрезов Прони на наличие залежей флюидов: а — нефтяная залежь; б — залежь пластовой воды; в — залежи флюидов нет

жения пластов Θ_{2-4} , — привели к получению притока воды с фильтрацией бурового раствора (дебит 6,6—7,4 м³/сут). Район скважины характеризуется фрагментами временных разрезов Прони по профилю 120050060 на информационных частотах 39 и 52 Гц и мгновенных амплитуд после Прони-фильтрации на информационной частоте 52 Гц по профилю 88980180.

Относительно профиля 120050060 скв. ВЯ97 незначительно смещена на юг. На фрагментах временных разрезов Прони этого профиля на обеих информационных частотах слабо проявляется целевая динамическая аномалия, охватывающая отражения от отложений Θ_{3-4} и Θ_5 , причем при повышении частотного состава волнового поля она проявляется хуже. Эта ситуация похожа на ту, что наблюдается в районе скв. ВЛ106, рассмотренном при описании участка 2. Предполагается залежь пластовой воды.

Фрагмент временного разреза мгновенных амплитуд по профилю 88980180 показывает, что в районе скв. ВЯ97 на информационной частоте 52 Гц нет аномалии мгновенных амплитуд. Это можно объяснить тем, что при подобном способе визуализации результатов фильтрации Прони не учитывается параметр затухания, а ослабление амплитуд при данном частотном интервале невелико. Но данный фрагмент также показывает, что южнее отмечается аномалия пониженных значений мгновенных амплитуд, которая охватывает область между Центрально-Ярокским и Восточно-Ярокским локальными поднятиями. Эта область может быть связана с нефтяной залежью в отложениях пластов Θ_{5-6} . Кроме того, еще одна подобная область отмечается и на юго-востоке от скв. ВЯ97 в гипсометрически пониженной части рассматриваемого участка.

В этих областях рекомендуется бурение глубоких скважин P-11 и P-12 соответственно. В районе рекомендуемой скв. P-12, судя по волновому полю, высока вероятность нефтяной залежи не только в пластах Θ_{5-6} , но и Θ_{2-4} .

Выводы

Волновое поле временных разрезов Прони с корректно подобранными параметрами в основном хорошо реагирует на нефтеносные объекты, что позволяет осуществлять их прогноз. Технология Прони-фильтрация предусматривает подбор параметров и визуальный анализ волновых полей на различных наиболее стабильных частотах, предварительно выбранных по тестовой программе. Разные сейсмогеологические условия проведения сейсморазведочных работ и графы обработки полевых сейсмограмм для получения интегрального волнового поля приводят к различиям в параметрах Прони-разложения. Для визуального анализа волнового поля после Прони-фильтрации на данном уровне развития технологии наиболее предпочтительно использовать вариант с наложением на амплитудные характеристики значений затухания в фоновом режиме, так как часто выделить динамическую аномалию, связанную с залежью углеводородов, только по изменению амплитуд не представляется возможным.

Проведенные исследования показали следующее.

1. Поисковым признаком нефтяных залежей в волновом поле временных разрезов Прони являются динамические аномалии пониженных амплитуд и повышенного затухания в целевом интервале разреза и ниже, которые наиболее хорошо локализуются в частотных интервалах 37–41 и 41–



- 53 Гц. При повышении частот подобные динамические аномалии сохраняются, иногда расширяясь (рис. 9, а);
- 2. Возможный поисковый признак залежи пластовой воды локализация динамической аномалии пониженных значений амплитуд и повышенного затухания в целевом интервале разреза и ниже в частотным интервале 37—41 Гц. На более высоких частотах динамическая аномалия уменьшается и постепенно исчезает (см. рис. 9, 6);
- 3. Отсутствие в целевом интервале временно́го разреза Прони динамических аномалий пониженных значений амплитуд и повышенного затухания во всех анализируемых частотных интервалах является явным признаком отсутствия залежей флюидов (см. рис. 9, в);

Для демонстрации частотно-зависимой реакции волновых полей временных разрезов Прони на наличие газовой залежи может служить профиль на Тевризской площади (Омская область, Западная Сибирь) (рис. 10). Первые заметные признаки газовой залежи в виде целевой динамической аномалии – понижения значений амплитуд и повышения коэффициента затухания – появились на более высоких частотах, чем при нефтяной залежи – в частотном интервале 49–59 Гц (информационная частота 54 Гц). При повышении частот динамическая анома-

лия расширяется и становится все более выраженной (см. рис. 10).

Исследованная территория имеет существенный потенциал для выявления новых нефтяных залежей. По результатам проведенной работы рекомендовано 15 точек для заложения глубоких скважин. Поисково-оценочные работы не закончены. Следует их продолжать, в том числе и с использованием технологии Прони-фильтрации.

В заключение следует сделать одно замечание, которое представляется нам важным. В дискуссиях на конференциях и рецензиях на статьи авторов часто указывается на сложность восприятия получаемых результатов по описанному прогнозу нефтегазоносных объектов. Но авторы постоянно убеждаются в их верности, что показывают данные глубокого бурения скважин. Это подчеркивает необходимость развития технологии в плане лучшей представимости ее результатов и разработки более строгих критериев выделения объектов нефтегазоносности на основе частотно-зависимой реакции наблюденного волнового поля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Гриценко С. А., Фомель С. Б., Черняк В. С.** Фильтрация по методу Прони // Геофизика. — 2001. — Спец. выпуск. — С. 25—26.

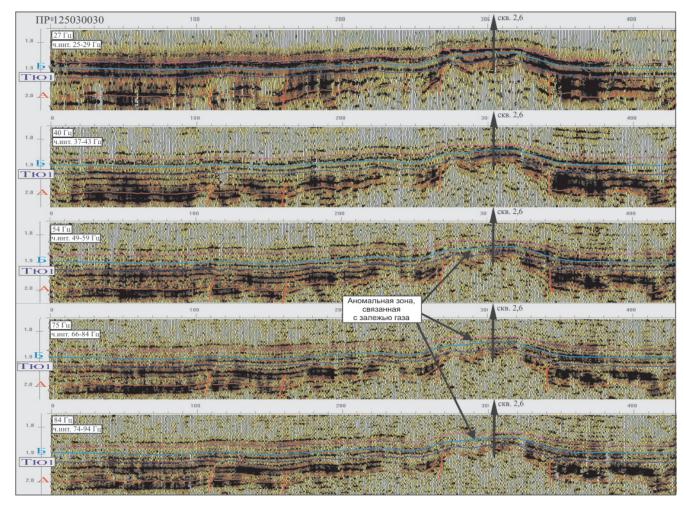


Рис. 10. Частотно-зависимая реакция волновых полей временных разрезов Прони на наличие газовой залежи



- 2. **Марпл С. Л.** Цифровой спектральный анализ и его приложения. М.: Мир, 1990. 584 с.
- 3. **Митрофанов Г. М., Прийменко В. И.** Основы и приложения метода Прони-фильтрации // Технология сейсморазведки. 2011. № 3. С. 93—108.
- 4. Палеогеография Западно-Сибирского осадочного бассейна в юрском периоде / А. Э. Конторович, В. А. Конторович, С. В. Рыжкова и др. // Геология и геофизика. 2013. Т. 54, № 8. С. 972—1012.
- 5. **Разложение** и фильтрация Прони / Г. М. Митрофанов, С. Н. Смолин, Ю. А. Орлов, В. Н. Беспечный // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. 2020. № 2. С. 55–67.
- 6. Смолин С. Н., Митрофанов Г. М. Проблема обнаружения неструктурных нефтегазоносных объектов по данным сейсморазведки // Геология и минеральносырьевые ресурсы Сибири. 2020. № 4. С. 63–72.
- 7. Таффарель Е. С., Предтеченская Е. А., Сердюк 3. Я. Прогноз нефтегазоносности алеврито-песчаных пластов $Ю_{2-4}$ Иртыш-Демьянского междуречья на основе комплексного анализа геолого-геофизических и литолого-петрофизических данных // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. 2019. № 4. C. 37-58
- 8. **Тектоно-седиментационная** модель формирования структурно-литологических и структурностратиграфических ловушек и залежей углеводородов в юрском формационном комплексе / 3. Я. Сердюк, Л. Д. Слепокурова, Л. И. Зубарева и др. // Горные ведомости. 2005. № 5 (12). С. 24—39.
- 9. Mitrofanov G. M., Nefedkina T. V., Girshgorn L. S. Aspects of Proni-transformation applying in seismic data processing // Annales Geophysicae: XXIII General Assembly EGS. 1998. Vol. 16, part I. P. 156.
- 10. **Prediction** of production features on Proni-filtration results / A. M. Brekhuntcov, J. M. Ilein, A. V. Jedkov, G. M. Mitrofanov // EAGE 63rd Conference & Exhibition. Amsterdam, Netherlands. June 2001. Vol. 2. P. 625.

REFERENCES

1. Gritsenko S.A., Fomel S.B., Chernyak V.S. [The Prony's filtration technology]. *Geofizika*, 2001, pp. 25-26. (In Russ.).

- 2. Marple S.L. *Tsifrovoy spektralnyy analiz i ego prilozheniya* [Digital spectral analysis: with applications]. Moscow, Mir Publ., 1990. 584 p. (In Russ.).
- 3. Mitrofanov G.M., Priymenko V.I. [Basics and applications of the Prony filtration method]. *Tekhnologiya seismorazvedki Seismic technologies*, 2011, no. 3, pp. 93–108. (In Russ.).
- 4. Kontorovich A.E., Kontorovich V.A., Ryzhkova V.S., et al. [Jurassic paleogeography of the West Siberian sedimentary basin]. *Russian Geology and Geophysics*, 2013, vol. 54, no. 8, pp. 747–779.
- 5. Mitrofanov G.M., Smolin S.N., Orlov Yu.A., Bespechnyy V.N. [Prony decomposition and filtering]. *Geologiya i mineralno-syryevye resursy Sibiri Geology and mineral resources of Siberia*, 2020, no. 2, pp. 55–67. (In Russ.).
- 6. Smolin S.N., Mitrofanov G.M. [Problem of detecting non-structural oil-and-gas bearing features according to seismic data]. *Geologiya i mineralno-syryevye resursy Sibiri Geology and mineral resources of Siberia*, 2020, no. 4, pp. 63–72. (In Russ.).
- 7. Taffarel Ye.S., Predtechenskaya Ye.A., Serdyuk Z.Ya. [Forecast of oil and gas content of Yu₂₋₄ silty-sandy beds of the Irtysh-Demyanka interfluves based on the complex analysis of geological-geophysical and litho-petrophysical data]. *Geologiya i mineralno-syryevye resursy Sibiri Geology and mineral resources of Siberia*, 2019, no. 4, pp. 37–58. (In Russ.).
- 8. Serdyuk Z.Ya., Slepokurova L.D., Zubareva L.I., et al. [Tectono-sedimentary model of formation of structural-lithological and structural-stratigraphic traps and hydrocarbon accumulation in the Jurassic formational complex]. *Gornye vedomosti*, 2005, no. 5 (12), pp. 24–39. (In Russ.).
- 9. Mitrofanov G.M., Nefedkina T.V., Girshgorn L.S. Aspects of Proni-transformation applying in seismic data processing. *Annales Geophysicae: XXIII General Assembly EGS*, 1998, vol. 16, part I, p. 156.
- 10. Brekhuntcov A.M., Ilein J.M., Jedkov A.V., Mitrofanov G.M. Prediction of production features on Proni-filtration results. *EAGE 63rd Conference & Exhibition*, Amsterdam, Netherlands, June 2001, vol. 2, p. 625.

© С. Н. Смолин, Г. М. Митрофанов, 2021



УДК 550.834:553.98.044(571.56-14)

О ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭМИССИИ МИКРОСЕЙСМ ПРИ ПОИСКЕ НЕФТЕГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НА ПРИМЕРЕ ЧАЙКИНСКОЙ ПЛОЩАДИ

Е. А. Хогоев^{1,3}, Е. Е. Хогоева^{1,2}, М. Л. Шемякин²

¹Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН им. А. А. Трофимука, Новосибирск, Россия; ²Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия ³Алтае-Саянский филиал ФИЦ «Единая геофизическая служба» РАН, Новосибирск, Россия

Приведены результаты картирования микросейсм по Чайкинской площади с использованием сейсмограмм стандартной сейсморазведки (участки сейсмограмм с удалениями более 2 км на времени от 3,5 с, т. е. после регистрации первичных волн от взрыва). На отдельных участках профилей выявлен эффект сейсмической эмиссии — кратного увеличения интенсивности микросейсм частот 0—30 Гц по сравнению с микросейсмами, регистрируемыми до первых вступлений волн от взрыва. Выделена аномалия микросейсмического шума на поднятии в северо-восточной части площади, подтверждаемая наследованием аномалии на двух параллельных профилях и пересекающем их профиле. Эта аномалия коррелирует на площади с ловушкой, обнаруженной методом аэрогамма-спектрометрии. Результаты исследования микросейсмической эмиссии могут быть использованы в комплексной интерпретации геофизических данных при поиске нефтегазовых месторождений.

Ключевые слова: сейсморазведка, спектр микросейсм, прогноз нефтегазовых залежей.

ABOUT THE POSSIBILITY OF USING THE EMISSION OF MICROSEIMS IN SEARCHING FOR OIL AND GAS DEPOSITS, ON THE EXAMPLE OF CHAYKINSKAYA AREA

E. A. Khogoev^{1.3}, E. E. Khogoeva^{1,2}, M. L. Shemyakin²

¹A.A.Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS; Novosibirsk, Russia; ²Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia; ³Altai-Sayan Branch of Federal Research Center "United Geophysical Service" RAS, Novosibirsk, Russia

The article presents the results of microseismic mapping of Chaykinskaya area using standard seismic gathers. Offsets more than 2 km and time interval from 3.5 s and, i.e. after the registration of primary artificial waves are used. Increasing of microseisms intensity (0-30 Hz) compared to intervals before first brakes was revealed. The anomaly of microseismic noise at the elevation in the northeastern part of the area confirmed by an inheritance of the anomaly on two parallel profiles and a profile crossing them was identified. This anomaly correlates in the area with a trap detected by the aero-gamma-spectrometry method. The investigation results of the microseismic emission can be used in an integrated interpretation of geophysical data in oil and gas exploration.

Keywords: seismic exploration, microseismic spectrum, oil and gas exploration.

DOI 10.20403/2078-0575-2021-1-88-95

Серьезные препятствия для эффективного применения традиционных сейсморазведочных методов на большинстве разведываемых объектов Восточной Сибири представляют такие факторы, как сложное строение верхней части разреза, высокие скорости распространения волн, сильный фон частично-кратных волн. В результате мы получаем низкую прослеживаемость отражающих горизонтов, появление временных аномалий, искажающих структурный план целевых горизонтов. Указанные факторы характеризуют сейсмогеологические условия Чайкинской площади. В связи с этим для решения задач поиска нефтегазовых залежей возрастает значение комплексного исследования объекта с привлечением как можно большего числа геофизических методов.

В дополнение к традиционным методам обработки данных сейсмики в настоящее время развивается направление, нацеленное на извлечение из сейсмического поля дополнительной информации, прямо не связанной с отраженными волнами. Задача здесь — получение независимой и более полной информации о строении геосреды с использованием волн разных классов, в том числе волнового поля сейсмической эмиссии. Проведенные нами ранее исследования по Берямбинской и Пайяхской площадям дают основания полагать, что аномалии микросейсмической эмиссии коррелируют с нефтегазовыми залежами [6, 7].

Наш подход является одним из вариантов использования микросейсмической эмиссии при поисках залежей углеводородов. Наиболее известный в этом направлении метод — поиск залежей с помощью мониторинга никочастотных (2—6 Гц) микросейсм (АНЧАР). Авторы этого метода С. Л. Арутюнов, О. Л. Кузнецов и др. в недавней статье [5] по результатам многолетних исследований обосновывают утверждение, что микросейсмическая эмиссия геосреды связана с ее УВ-насыщением и может быть прогнозным индикатором нефтегазовых залежей, а при техногенном воздействии интенсивность микросейсмической эмиссии залежи возрастает



кратно. Эти выводы в целом согласуются с нашим опытом.

За рубежом также проявляется интерес к этому подходу, в частности, применительно к поиску волн микросейсмической эмиссии в данных активной сейсмики в поздней части сейсмической записи после прохода первичных волн PP, PS и SS [9].

Ранее Г. В. Ведерниковым и Л. А. Максимовым [2] была проведена обработка и интерпретация микросейсм по части профилей (1, 2, 4, 5) Чайкинской площади. В связи с ограниченностью данных не удалось построить карты распределения микросейсмических шумов по площади. При обработке использовались данные до первых вступлений волн от взрыва, где контрастность аномалий оказалась мала, что не способствует надежному их выделению.

В предлагаемой статье приводятся результаты исследования спектров микросейсм по сейсмограммам МОГТ на поздних временах записи сейсмотрасс, после регистрации волн от источника. Использование такого подхода позволяет выделить сейсмоэмиссионные эффекты от залежи углеводородов. После прохождения волн от взрыва, как уже отмечалось, ожидается кратное увеличение микросейсмической эмиссии по сравнению с эмиссией, регистрируемой на сейсмограммах до первых вступлений.

Методика обработки

В наших работах начиная с 2006 г. развивается направление, которое заключается в использовании данных МОГТ для картирования аномалий спектров эмиссионных микросейсм с помощью их накопления в точках приема и поиску связи характеристик спектра с нефтегазовыми залежами и блочным строением среды [1]. Исходными данными служат отрезки трасс с большими (более 2 км) удалениями от источника как до вступления первых волн, так на поздних временах записи (от 3,5 с записи). Это близко подходу, описанному в работе [9], с тем отличием, что ее авторы ищут следы фронтов волн эмиссии непосредственно в волновом поле, что представляет более сложную задачу.

Мы проводим анализ микросейсм на определенных интервалах сейсмических трасс. На первом этапе вычисляются основные статистические параметры по всему профилю измерений (математическое ожидание М, стандартное отклонение σ) и проводится отбраковка интервалов с выбросами амплитуд по известному правилу статистики 3о. Путем минимизации влияния случайных импульсных помех удается выделить стационарный фоновый процесс. Мы рассчитываем спектры микросейсм и затем проводим их усреднение в точках приема. В итоге мы получаем распределение значений усредненного спектра в координатах (по горизонтали – профильные координаты точек приема, по вертикали – частота), значение спектра кодируется цветом. При выводе изображения производится

нормировка на среднее значение спектра по всему профилю.

При построении карт требуется унифицировать полученные результаты. Для унификации данных по профилям мы переходим к удельному спектру определенного частотного диапазона, т. е. отношения суммы значений спектра (например, от F₁ до F_2) к сумме всего спектра от 0 до 250 Гц. В данном случае $F_1 = 0$ Гц, $F_2 = 30$ Гц. Используя площадные координаты пунктов приема, мы можем строить карты распределения удельного спектра в процентах по площади, воспользовавшись программой Surfer. Надо отметить, что достоверность карт меньше, чем изображение спектра по профилю, так как качество интерполяции определяется количеством профилей и их плотностью на площади. Надежным способом интерпретации при выделении области аномальных значений спектра микросейсм является видимая наследуемость аномалий на параллельных и пересекающихся профилях.

Опираясь на полученные ранее результаты по связи фонового микросейсмического шума с нефтегазовыми залежами на Берямбинской и Пайяхской площадях [6, 7], проведем исследование микросейсм по сейсмопрофилям МОГТ на поздних временах сейсмотрасс по данным площадной 2D съемки Чайкинской площади.

Нефтегазоносность Чайкинского поднятия

Чайкинское поднятие (площадь около 2500 км^2 , амплитуда до 250 м) расположено в зоне сочленения Непско-Ботуобинской антеклизы с Предпатомским региональным прогибом. Основные перспективы нефтегазоносности здесь, по данным А. В. Мигурского и др. [3], связаны с венднижнекембрийскими отложениями. Их нефтегазоносность доказана бурением на соседнем Талаканском месторождении, где продуктивны осинский (основной) и хамакинский горизонты. Оценка нефтегазоносности поднятия показала, что ресурсы условных углеводородов могут достигать 4,0 млрд M^3 . В 2008 г. была пробурена параметрическая скв. 279. В разрезе по керну и каротажу выделены пласты, продуктивные на соседних площадях - осинский (1046-1088 м), преображенский (1370-1383 м), хамакинский (1613-1630 м).

Нефте- и газопроявления отмечены в нескольких горизонтах. Промышленный приток газа с конденсатом (164,5 тыс. м³/сут) получен из чайкинского горизонта (аналог хамакинского) верхнепаршинской подсвиты (нижний венд), представленного трещиновато-кавернозными сульфатно-карбонатными обломочными породами.

С целью локализации зон нефтегазонакопления и выявления участков, перспективных на поиски углеводородов в рифейском и вендском нефтегазоносных комплексах, на Чайкинском поднятии пробурена параметрическая скв. 367, в 24 км северо-восточнее — скв. 279. Пласт газонасыщенных



брекчированных доломитов, вскрытый в Чайкинской скв. 279 и названный чайкинским продуктивным горизонтом, в Чайкинской скв. 367 представлен плотными глинистыми известняками и известковистыми аргиллитами без явных признаков коллекторов. При испытании получены непромышленные нефтепроявления из пород верхнего венда.

С 2006 г. Чайкинская площадь входит в число активно изучаемых специалистами СНИИГГиМС объектов. Проведены комплексные исследования, включающие в себя МОГТ, электроразведку ЗСБЗ, геохимическую и аэрогеофизическую съемку. В результате построены прогнозные карты перспективных объектов, представленных в презентации А. С. Ефимова, М. Ю. Смирнова и др. [8], на которые мы будем опираться в качестве экспертного материала для верификации наших результатов.

Результаты обработки данных

В зимний сезон 2010—2011 гг. на Чайкинской площади была проведена сейсморазведка МОГТ-2D. В нашем распоряжении имеется десять профилей, из них три (4, 5 и 10) с направлением с юго-запада на северо-восток, два последних протяженные (около 50 км), а также вкрест первой группе профили 1, 2, 3, 6, 7, 8, 9 протяженностью до 30 км. Общий план размещения профилей показан на рис. 1. Шаг по пунктам приема 20 м, по пунктам взрыва 40 м.

Проведем анализ среднечастотных (0–30 Гц) фоновых микросейсм по профилю 5 в следующих вариантах окнах анализа: 1) расположенное до первых вступлений (T_0 = 0 с, удаления $|L| \ge 2$ км); 2) смещенное на поздние времена (T_0 = 3,5 с, $|L| \ge 2$ км). Длина окна по времени в обоих вариантах составляет 512 мс (256 отсчетов).

На рис. 2 приводится сопоставление результатов расчета фоновых микросейсм по профилю 5 с фрагментом временного разреза. В варианте расчета по участкам трасс до первых вступлений (см. рис. 2, а) наблюдаются слабо выраженные среднечастотные аномалии в конце профиля (на 42-43 и 47-48 км). Второй вариант (см. рис. 2, б) рассчитан по поздним временам трасс, после прохождения первичных волн от взрыва. Сравнивая эти рисунки, мы приходим к выводу, что присходит значительное увеличение среднечастотных микросейсмических шумов в конце профиля значительно. Значения суммы спектра W в интервале частот 0–30 Гц при T_0 = 3,5 с в 3–4 раза превосходит значения при $T_0 = 0$ с в интервале профиля 39–51 км (см. рис. 2, в). По нашим предположениям, разрастание спектральной аномалии в области низких частот свидетельствует об эмиссионном отклике среды, насыщенной углеводородами. Проходящие через залежь волны, вызванные взрывом, служат триггером для сейсмоэмиссионного отклика. До прохождения волн от взрыва, если рассчитывать спектры микросейсм до первых вступлений, фоновый процесс эмиссии существует, но уровень спек-

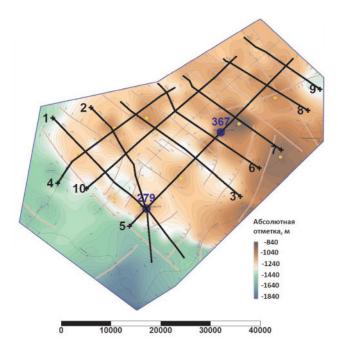


Рис. 1. Структурная карта кровли паршинской свиты на Чайкинской площади по [8]. Черные линии — сейсмические профили; синий цвет — скважины и их номера

тров меньше, область их регистрации на профиле в линейных координатах сужается почти в 10 раз. Расчеты по другим профилям также показывают, что наиболее информативен вариант анализа по поздним временам в интервале начала окна от 3,5 с, поэтому дальнейшие расчеты проводились по этой методике.

При сопоставлении спектров по профилю с временным разрезом мы приходим к следующим выводам. Во-первых, в месте расположения продуктивной скв. 279 отмечается локальное погребенное поднятие, однако в спектре микросейсм аномалий не наблюдается. Необходимо пояснить, что испытание данной скважины с получением притока газа проводилось в 2008 г., а сейсморазведка – только в 2011 г. Вскрытая залежь из-за изменения внутрипластового давления представляет собой другой объект по сравнению с исходной, если мы рассматриваем условия возникновения микросейсмической эмиссии. Во-вторых, скв. 367 расположена в средней части профиля над поднятием, в целом протяженным, но локально над областью разломов, приводящих к потере прослеживаемости горизонтов. Такие сложные тектонические условия препятствуют формированию ловушки углеводородов, что подтвердилось испытанием скважины. Связанное с поднятием в средней части профиля повышение уровня спектра фоновых микросейсм незначительно. И в-третьих, протяженная аномалия спектра эмиссионных микросейсм в конце профиля 5 на временном разрезе коррелируется с поднятием.

Рассмотрим пересечение пр. 5 с пр. 7, 8 и 9. На рис. 3 даны спектры микросейсм по этим профилям, черной чертой отмечены точки пересечения с пр. 5, которые расположены на пр. 8, 9 в об-

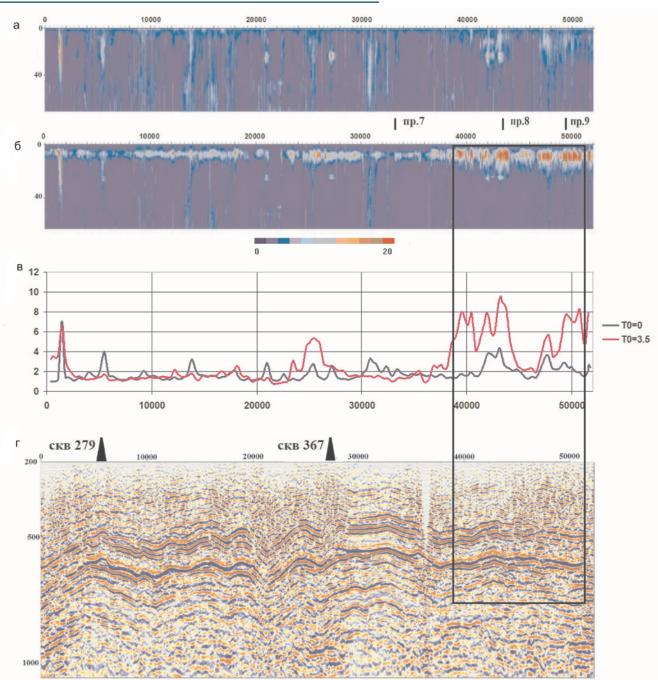


Рис. 2. Чайкинская площадь, профиль 5. Осредненный спектр по выборке удалений, превышающих 2 км: a - no началу трасс, $T_0 = 0$ с; $6 - T_0 = 3.5$ с; b - c средний амплитудный спектр в интервале 0–30 Гц при начале окна анализа с $T_0 = 0$ с и 3.5 с; r - c фрагмент временного разреза пр. 5

ласти аномалии спектра микросейсм. Как следует из рис. 1, эти профили расположены рядом на расстоянии 7–10 км и практически параллельны. Очевидно, что аномалия повышенного уровня микросейсм наследуется на данных профилях: пр. 8 — на 9–13 км, пр. 9 — на 8–12 км. На пр. 7 имеются аномальные участки на 5–11 км, но относительная интенсивность их меньше, поэтому мы не рассматриваем их как прямое продолжение аномальной области. Преобладающая частота (около 10 Гц) и размер аномалии схожи. Форма аномалий на профилях 5, 8, 9 характеризуется большой изрезанностью, что обусловлено, вероятно, блоковым строением территории.

Существенные аномалии на средних частотах (до 30 Гц) отмечаются на пр. 5 в северо-восточной части, пр. 8 и 9 — в центральной. Чтобы построить карты аномалий спектра микросейсм, по каждому профилю в точках приема мы рассчитываем удельный спектр W_{30} в диапазоне 0—30 Гц, т. е. отношение суммы спектра от 0 до 30 Гц к сумме всего спектра, выраженное в процентах. В результате имеем площадные координаты пунктов приема и значения W_{30} в этих точках. По этим данным строим карту, представленную на рис. 4, здесь же приведено положение профилей и скважин и их номера. При построении карты используется процедура обобщенной линейной регрессии Kriging.



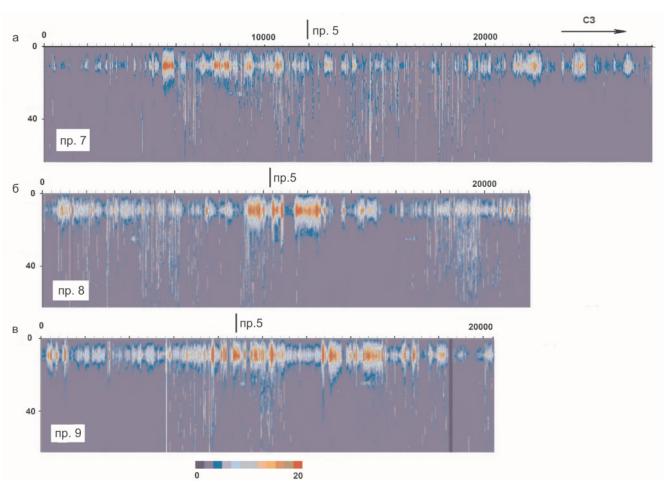


Рис. 3. Чайкинская площадь, профили 7 (а), 8 (б), 9 (в). Осредненный спектр по выборке удалений, превышающих 2 км, T_0 = 3,5 с; по вертикальной оси частота, Γ ц, по горизонтальной – координаты профиля. Вертикальной чертой отмечена точка пересечения с пр. 5

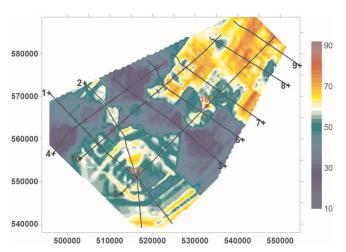


Рис. 4. Чайкинская площадь. Карта удельной части спектра 0–30 Гц в общем спектре (W_{30} , %). По осям площадные координаты X, Y. Значения кодируются цветом, шкала справа. Красные кружки – скважины, черные линии – сейсмические профили

Из построенной карты следует, что на северовостоке площади имеется устойчивая аномалия среднечастотных фоновых микросейсм, предположительно связанная с наличием залежи углеводородов. Несмотря на разреженность профилей и неравномерное покрытие ими площади, можно

полагать, что карта, построенная посредством интерполирующей процедуры, достоверно отражает имеющийся материал по отдельным профилям (см. рис. 4).

Очевидно, что наибольший фоновый микросейсмический шум сосредоточен в северо-восточной части площади, причем аномалии наследуются на соседних параллельных профилях 8, 9, а также на пересекающем их профиле 5 (см. рис. 1). Протяженность аномальной зоны, состоящей из двух экстремумов с характерным разрывом, на пр. 8-9 составляет около 3 км. Протяженность аномальной зоны по пр. 5 более 10 км с перерывами. Мы обнаруживаем также еще одну область повышения уровня спектра микросейсм вблизи пересечения пр. 7 и пр. 10, однако здесь нет подтверждаемости результатов на параллельных профилях, как в первом случае, потому мы оставляем эту область под сомнением. Также аномалия спектра микросейсм в начале пр. 7 не обсуждается, поскольку отсутствуют профили, на которых можно было бы найти подтверждающие данные.

Параметрическая скв. 279 в юго-западной части площади находится близ слабой аномалии, окружающей ее по кольцу. Причины отсутствия аномалии уже объяснены.



Скв. 367 находится вне зоны существенных отклонений фонового микросейсмического поля.

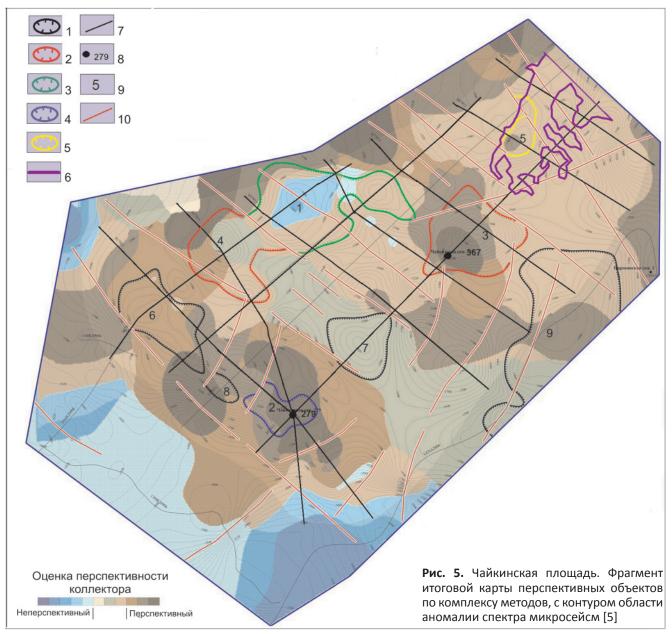
Обсуждение результатов

Обратимся к итоговой прогнозной карте Чайкинской площади, построенной в результате комплексного анализа, проведенного сотрудниками СНИИГГиМС под руководством А. С. Ефимова (рис. 5).

Здесь приводятся данные интерпретации сейсморазведки МОГТ, аэрогамма-спектрометрии (АГС), электроразведки и литологии. Выделяется девять ловушек, из которых четыре — по интерпретации данных сейсморазведки, две — по данным электроразведки и по одной — по данным литогеохимии и АГС. На карте заливкой разного цвета показана оценка перспективности коллектора.

Мы отмечаем, что наиболее заметная аномалия микросейсм на рис. 4, отмеченная оттенками красного цвета, хорошо коррелирует с прогнозом ловушки по данным АГС на рис. 5 (желтый контур на северо-востоке); ловушка по данным электроразведки и одновременно АГС (зеленый контур к северу от центра площади) также пересекается со второй по значимости аномалией микросейсм.

На рис. 5 по изолинии 65 % мы поместили фиолетовый контур области главной аномалии спектра микросейсм (подтверждаемой на двух параллельных профилях и одном пересекающем их). Видно, что этот контур включает в себя ловушку 5, выделенную АГС, отмеченную также цветом как область перспективного коллектора. Известно, что прогнозные возможности АГС основываются на косвенном проявлении в поле радиоактивности индикаторов



Ловушки, подтвержденные: 1 — сейсморазведкой, 2 — электроразведкой, 3 — электроразведкой и аэрогамма-спектрометрией, 4 — электроразведкой и литогеохимией, 5 — аэрогамма-спектрометрией; 6 — контур области аномалии спектра микросейсм; 7 — сейсмические профили; 8 — скважины; 9 — ловушки; 10 — разрывные нарушения



залежи, поступающих к поверхности вместе с летучими флюидами.

В работе [4] в результате подробного исследования установлено, что на юге Сибирской платформы аномальные корреляционные ореолы радиоэлементов (в основном урановой группы) выявлены над всеми УВ-вмещающими купольными структурами в пределах водогазонефтяных контактов.

Таким образом, наш прогноз нефтегазоносносности, основанный на исследовании аномальной сейсмической эмиссии, подтверждается методом прогноза, основанном на совершенно иных физических свойствах залежи.

Выводы

Установлено, что среднечастотный спектр фонового микросейсмического шума, выделенного в волновом поле при поздних временах регистрации (после прохождения волн от искусственного источника), коррелирует с среднечастотным спектром шума, присутствующего в начале сейсмической записи до первых вступлений. Отличие заключается в более яркой выраженности среднечастотного шума на поздних временах записи: его амплитуда вырастает 3–4 раза (см. рис. 2, г).

Протяженность аномалии микросейсм по профилю значительно превышает слабые аномалии, выделяемые по полю микросейсм, регистрируемых до прихода первых волн. Это говорит об эффекте сейсмической эмиссии, возникающей непосредственно после прохождения волн от взрыва. Оптимальные параметры окна анализа спектра фоновых микросейсм: удаления более от 2 км, время начала окна анализа T_0 от 3,5 с.

В результате опробования нашей методики на сейсмическом материале по Чайкинской площади выявлена аномалия спектра среднечастотных микросейсм в северо-восточной части площади. Аномалия подтверждается наследованием на двух параллельных профилях 8 и 9, отстоящих друг от друга на 7 км, и на пересекающем их профиле 5. Характерный размер аномалии на профилях 8 и 9 около 2,5 км, на профиле 5 протяженность с учетом разрывов свыше 10 км. Устойчивость аномалии, ее контрастность и корреляция с прогнозом АГС указывают на возможность присутствия залежи углеводородов на этом участке Чайкинской площади.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Ведерников Г. В., Хогоев Е. А. Уточнение блоковых моделей залежей углеводородов по характеристикам микросейсм // Сб. матер. 10-й геофиз. науч.-практ. конф. «ТюменьЕАГО». Тюмень, 2006. С. 17—22
- 2. Ведерников Г. В., Максимов Л. А., Старосельцев В. С. Об учете геодинамических шумов в модели Чайкинского месторождения // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. 2014. № 2. С. 58—62.

- 3. Мигурский А. В., Старосельцев В. С., Мельников Н. В. Опыт изучения Чайкинского поднятия крупного объекта нефтепоисковых работ на Сибирской платформе // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. 2010. № 4. С. 14—25.
- 4. **Результаты** интерпретации материалов аэрогамма-спектрометрической съемки в южной части сибирской платформы разведки / Н. Г. Лященко, Е. И. Махнач, Г. М. Тригубович, М. И. Карпухин // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. 2010. № 2. С. 39—48.
- 5. **Сейсмические** исследования неравномерности открытой трещиноватости и неоднородности флюидонасыщения геологической среды для оптимального освоения месторождений нефти и газа / О. Л. Кузнецов, И. А. Чиркин, С. И. Арутюнов и др. // Георесурсы. 2018. Т. 20, № 3, ч. 2. С. 206—215.
- 6. **Хогоев Е. А., Шемякин М. Л.** Микросейс-мическое районирование Берямбинской площади по данным 2D сейсмической разведки // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. 2017. № 2 (30). С. 104–111.
- 7. Хогоев Е. А., Хогоева Е. Е., Шемякин М. Л. Результаты численного анализа микросейсм по сейсмограммам МОГТ в районе Пайяхского нефтяного месторождения // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. 2018. № 2 (34). С. 93—99.
- 8. **Эффективность** прогноза нефтегазоперспективных локальных объектов на территории широкого развития траппового магматизма на Сибирской платформе / А. С. Ефимов, М. Ю. Смирнов, В. С. Старосельцев, Г. М. Тригубович. URL: http://www.rosnedra.gov.ru/data/Files/File/2576.pdf.
- 9. **Batta G. K., Singh S. N.** Micro seismic evidences in active seismic data: resonant near infrasonic microseismic emission as direct hydrocarbon indicator (DHI) (A case study from Upper Assam Basin, India) // 10th Biennial international conference and exposition on the theme «Changing Landscapes in Geophysical Innovations» on 23–25 November 2013. Kochi, 2013. 182 p.

REFERENCES

- 1. Vedernikov G.V., Khogoev E.A. [Refinement of block models of hydrocarbon deposits based on microseismic characteristics]. *Sbornik materialov 10-y geofizicheskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii TyumenEAGO* [Collection of writings of 10th Geophysical Research Conference TyumenEAGS (Euro-Asian Geophysical Society]. Tyumen, 2006, pp. 17–22. (In Russ.).
- 2. Vedernikov G.V., Maksimov L.A., Staroseltsev V.S. [On account of geodynamical noises in the Chaikinskoye field model]. *Geologiya i mineralnosyryevyye resursy Sibiri Geology and mineral resources of Siberia*, 2014, no.2, pp. 58–62. (In Russ.).
- 3. Migurskiy A.V., Staroseltsev V.S., Melnikov N.V. [Experience of the Chaikinskoye uplift study the major object of the petroleum exploration on the Siberian



- Platform]. Geologiya i mineralno-syryevyye resursy Sibiri Geology and mineral resources of Siberia, 2010, no. 4, pp. 14–25. (In Russ.).
- 4. Lyashchenko N.G., Makhnach E.I., Trigubovich G.M. [Interpreted results of aerogamma-spectrometric survey in the southern Siberian Platform]. *Geologiya i mineralno-syryevyye resursy Sibiri Geology and mineral resources of Siberia*, 2010, no. 2, pp. 39–48. (in Russ.).
- 5. Kuznetsov O.L., Chirkin I.A., Arutyunov S.I., et al. [Seismic studies of the unevenness of open fracturing and inhomogeneity of the fluid saturation in the geological environment for optimal development of oil and gas fields]. *Georesursy Georesources*, 2018, vol. 0, no. 3, part 2, pp. 206–215. (In Russ.).
- 6. Khogoev E.A., Shemyakin M.L. [Seismic microzoning of the Beryambinskaya area based on 2D seismic survey data]. *Geologiya i mineralno-syryevyye resursy Sibiri Geology and mineral resources of Siberia*, 2017, no. 2 (30), pp. 104–111. (In Russ.).

- 7. Khogoev E.A., Khogoeva E.E., Shemyakin M.L. [Results of numerical microseism analysis on CDP seismograms in the area of Paiyakhskoye oil field] *Geologiya i mineralno-syryevyye resursy Sibiri Geology and mineral resources of Siberia*, 2018, no. 2 (34), pp. 3–99. (In Russ.).
- 8. Yefimov A.S., Smirnov M.Yu., Staroseltsev V.S., Trigubovich G.M. [Efficiency of prediction of oil and gas promising local targets in the territory of wide development of trap magmatism on the Siberian Platform]. Available at: http://www.rosnedra.gov.ru/data/Files/File/2576.pdf. (In Russ.).
- 9. Batta G.K., Singh S.N. Micro seismic evidences in active seismic data: resonant near infrasonic micro-seismic emission as direct hydrocarbon indicator (DHI) (A case study from Upper Assam Basin, India).10th Biennial international conference and exposition on the theme «Changing Landscapes in Geophysical Innovations» on 23–25 November 2013. Kochi, 2013. 182 p.
 - © Е. А. Хогоев, Е. Е. Хогоева, М. Л. Шемякин, 2021



УДК (553.97:550.42)+574.4/.5(571.1))

ПРИРОДНЫЕ РАДИОИЗОТОПЫ И 137 Cs В РАЗРЕЗЕ ШЕРСТОБИТОВСКОГО ВЕРХОВОГО БОЛОТА БАРАБИНСКОЙ ЛЕСОСТЕПИ (ЗАПАДНАЯ СИБИРЬ)

 Γ . А. Леонова¹, М. С. Мельгунов¹, К. А. Мезина¹, А. Е. Мальцев¹, Ю. И. Прейс²

¹Институт геологии и минералогии им. В. С. Соболева СО РАН, Новосибирск, Россия; ² Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН. Томск. Россия

Определены удельные активности природных (7 Be, 210 Pb) и техногенного (137 Cs) радиоизотопов во взвешенном веществе снеговой воды. Дана оценка плотности их выпадения на поверхность Шерстобитовского и Убинского верховых болот Барабинской лесостепи в точках отбора снега в зимний период. Установлено, что основным концентратором радиоизотопа ⁷Ве является мелкодисперсная фракция взвешенного вещества (<0,45 мкм), состоящая из коллоидов и растворенной компоненты, 210 Pb $_{a_{TM}}$ крупнозернистая фракция (>3 мкм), состоящая из пылевых частиц. На примере вертикального профиля Шерстобитовского торфяника получены первые данные для верховых болот лесостепной зоны Западной Сибири по распределению естественных (238 U, 210 Pb, 226 Ra, 40 K) и техногенного (137 Cs) радиоизотопов. В характере вертикального распределения 226 Ra и 238 U прослеживается та же закономерность, что для 137 Cs и 40 К. В горизонтах 6–12 см, а также в нижней части разреза (25–35 см) наблюдается подъем их активностей, что, по нашему предположению, обусловлено одними и теми же процессами. Миграция ¹³⁷Cs вглубь торфяной залежи в значительной мере определяется величиной колебания уровня болотных вод в сезонном и многолетнем циклах и тесно связана с микрорельефом поверхности болота. Кроме того, 137 Cs, являясь геохимическим аналогом биофильного 40 K, подтягивается из нижележащих горизонтов торфа корнями растений в засушливое время года. Дополнительный вклад в его высокую активность в верхних горизонтах обусловлен, вероятно, привносом на поверхность Шерстобитовского торфяника ¹³⁷Cs, вовлеченного в атмосферу в результате торфяных и лесных пожаров.

Ключевые слова: верховое болото (рям), лесостепная зона, разрезы торфяников, естественные и техногенные радиоизотопы, атмосферные выпадения, снежный покров, удельная активность радиоизотопов.

NATURAL RADIOISOTOPES AND ¹³⁷Cs IN THE SECTION OF THE SHERSTOBITOVO PEAT BOG OF THE BARABA FOREST-STEPPE (WESTERN SIBERIA)

G. A. Leonova¹, M. S. Melgunov¹, K. A. Mezina¹, A. E. Maltsev¹, Yu. I. Preys²

¹V.S.Sobolev Institute of Geology and Mineralogy SB RAS, Novosibirsk, Russia; ²Institute of monitoring of Climatic and Ecological systems SB RAS, Tomsk, Russia

Specific activities of natural (7Be, 210Pb) and technogenic (137Cs) radioisotopes in the suspended matter of snow melted water have been determined and the density of their fallout on the surface of the Sherstobitovo and Ubinskoye peat bogs of the Baraba forest-steppe at the points of snow flow in winter period is estimated. It has been established that the main concentrator of the ⁷Be radioisotope is a finely dispersed fraction of suspended matter (<0.45 μm), consisting of colloids and dissolved component, $^{210}Pb_{atm}$ is a coarse-grained fraction (> 3 µm), consisting of dust particles. On the example of vertical profile of the Sherstobitovo peat bog, the first data on the distribution of natural (238U, 210Pb, 226Ra, 40K) and technogenic (137Cs) isotopes were obtained for peat bogs of forest –steppe zone of the Western Siberia. Both ²²⁶Ra and ²³⁸U show the same pattern of vertical distribution that is also usual for ¹³⁷Cs and ⁴⁰K. The increase of activity of these radionuclides is observed in the horizon of 6-12 cm as well as in the lower section part (25-35 cm). According to our assumption it is due to the same processes. Migration of ³⁷Cs deep into peat accumulation is significantly determined by moor water fluctuations in the seasonal and long-term cycle, and it is closely related to the microrelief of bog surface. Besides, ¹³⁷Cs, being a geochemical analogue of the ⁴⁰K biophile, is pulled up from the underlying peat horizons by plant roots during the dry season. An additional contribution to the high activity of ¹³⁷Cs in upper horizons is probably due to the input of ¹³⁷Cs to the surface of the Sherstobitovo peat bog as a result of peat and forest fires.

Keywords: peat bog (ryam), forest-steppe zone, peat bog sections, natural and technogenic radioisotopes, precipitation, snow cover, specific activity of radioisotopes.

DOI 10.20403/2078-0575-2021-1-96-109

Одним из основных путей миграции естественных радиоизотопов (7 Be, 210 Pb, 226 Ra, 232 Th, 238 U, 40 K) и техногенного радионуклида 137 Cs является атмосферный перенос. Радиоактивные элементы, переносимые воздушным путем, поступают на земную поверхность в составе сухих (пыль, аэрозоль) и «мо-

крых» (дождь, снег) атмосферных выпадений [32, 36, 41]. В современных исследованиях «атмосферные» радиоизотопы ⁷Ве и ²¹⁰Рb часто используются в качестве индикаторов процессов атмосферного переноса в составе аэрозольных и пылевых частиц. Основа таких исследований, как правило, — опре-



деление содержаний этих изотопов в приповерхностном слое воздуха и плотности их выпадения за определенный временной интервал [10, 26, 27, 40]. Источники происхождения ⁷Ве и ²¹⁰Рb различные. 7 Ве (период полураспада ($T_{1/2}$) 53,4 дня) является космогенным радионуклидом, он образуется в верхних слоях атмосферы при взаимодействии ядер атомов ¹⁴N и ¹⁶O с высокоэнергетичным космическим излучением [36]; 210 Pb ($T_{1/2}$ 22,3 года) – продукт распада ²²²Rn, который, в свою очередь, образуется в результате распада радионуклидов радиоактивного ряда ²³⁸U, поступающего в атмосферу с поверхности земли. Вновь образованные атомы ⁷Ве, ²²²Rn и продукты его распада электрически заряженные и практически сразу после появления захватываются аэрозольными и пылевыми частицами и в их составе выпадают на земную поверхность [41]. Техногенный радионуклид ¹³⁷Cs (T_{1/2} 30,1 года) поступает в атмосферу в результате испытаний ядерного оружия и аварий на предприятиях атомной энергетики [8, 16, 17, 32, 42 и др.].

Снежный покров представляет собой прекрасный природный планшет, накапливающий информацию об атмосферных поступлениях радиоизотопов за достаточно протяженный временной интервал (от первого выпадения снега в позднеосенний период до его таяния весной). Его можно с успехом использовать для проведения оценки плотности выпадения ряда радиоизотопов, в том числе ⁷Ве и ²¹⁰Pb [10, 41].

Для ретроспективных оценок атмосферного поступления радиоизотопов в доиндустриальную эпоху и на протяжении XX в. для исследований наиболее подходят торфяные залежи верховых болот [1, 7, 15, 39]. Ветровая эрозия определяет насыщенность воздушных масс терригенным веществом; в наибольшей степени этому подвержены площади аридных зон суши со слабым почвенно-растительным покровом или его отсутствием (пустыни). Здесь происходит подъем мелкодисперсного минерального вещества (пылевых частиц), затем оно ветровыми потоками переносится на значительные расстояния. В XX в. в связи с интенсивным развитием промышленности, топливно-энергетического комплекса и проведением испытаний ядерного оружия резко возросла загрязненность атмосферы и, соответственно, потоков аэрозолей на земную поверхность. Наиболее тонкая (микронная) фракция микрочастиц аэрозоля способствует захвату химических элементов и радиоизотопов [9]. Торфяные залежи верховых болот интенсивно накапливают поступающее из атмосферы минеральное вещество аэрозоля и пыли, выступая в роли природных фильтров. Погребенные залежи сфагнового торфа сохраняют радиоизотопный состав в приповерхностных стратифицированных горизонтах, отражая геохимическую характеристику атмосферных выпадений в прошлом и настоящем [15].

Верховые сосново-кустарничково-сфагновые болота (рямы) лесостепной зоны Западной Сибири

располагаются на южной границе ареала распространения верховых болот, где испытывают наибольшее влияние изменения климата и антропогенного воздействия. Рямы сформировались в конце суббореального периода преимущественно в более влажных и холодных климатических условиях [12, 35]. В настоящее время рямы лесостепной зоны Западной Сибири развиваются в климатических условиях зоны неустойчивого увлажнения и имеют характер фрагментов верховых болот, вкрапленных в низинные болота [19, 21]. В пределах Новосибирской области рямы расположены на площади 1800–2000 га и являются редкими реликтовыми комплексами.

Актуальность экогеохимических и радиоэкологических исследований рямовых комплексов лесостепной зоны Западной Сибири вполне очевидна. Ранее авторами проведена оценка степени загрязнения компонентов биогеоценозов рямов лесостепной зоны Западной Сибири тяжелыми металлами с использованием геохимических критериев [5] и техногенным радионуклидом ¹³⁷Cs [38]. В современной литературе отсутствуют данные об атмосферном поступлении радиоизотопов ⁷Be, ²¹⁰Pb и техногенного радионуклида ¹³⁷Cs на поверхность верховых болот Барабинской лесостепи. Сведения по распределению радиоизотопов в разрезах верховых торфяников юга лесной зоны Западной Сибири ограничены [14, 42], а для верховых болот лесостепной зоны Западной Сибири отсутствуют. Это и послужило для авторов причиной начать подобные исследования.

Целью данной работы является изучение атмосферного поступления ⁷Ве, ²¹⁰Рb и ¹³⁷Сs на поверхность Шерстобитовского и Убинского верховых торфяников Барабинской лесостепи и распределения в разрезе Шерстобитовского торфяника естественных (²³⁸U, ²¹⁰Pb, ²²⁶Ra, ⁴⁰K) и техногенного ¹³⁷Сs радиоизотопов.

Решались следующие задачи:

- 1. Отобрать пробы снега на Шерстобитовском и Убинском верховых болотах, определить удельные активности 7 Be, 210 Pb и 137 Cs в снеговой воде и провести оценку плотности выпадения радиоизотопов на поверхность исследуемых болот в точках отбора снега.
- 2. Исследовать распределение в вертикальном профиле Шерстобитовского торфяника естественных радиоизотопов (238 U, 210 Pb, 226 Ra, 40 K) и техногенного радионуклида 137 Cs.
- 3. Установить удельные активности естественных и техногенного (¹³⁷Cs) радиоизотопов в компонентах биогеоценоза Убинского горелого ряма дерновой почве, подстилке, зеленых и сфагновых мхах, листьях березы и брусники.

Объекты и методы исследования

В качестве базовых объектов были исследованы два верховых болота (ряма) лесостепной



Nº 1(45) ♦ 2021 —

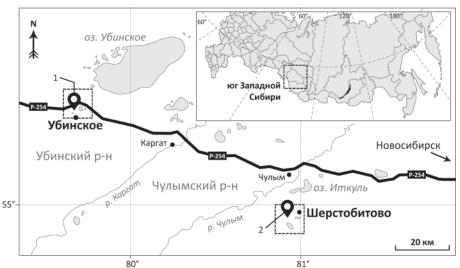


Рис. 1. Местоположение Убинского (1) и Шерстобитовского (2) рямов (Барабинская лесостепь, Новосибирская область)

зоны Западной Сибири. Убинский рям (координаты 55°18'40" с.ш., 79°42'25" в.д.) находится в Убинском районе Новосибирской области вблизи с. Убинское, Шерстобитовский рям (54°58'58" с.ш., 81°00'58' в.д.) — в Чулымском районе Новосибирской области у с. Шерстобитово (рис. 1).

Выбраны наиболее показательные ключевые участки Шерстобитовского ряма, находящегося в естественном, не нарушенном пожарами, состоянии, и Убинского горелого ряма — антропогенно нарушенного, имеющего признаки влияния мелиорации и пожаров.

На ключевых участках рямов выполнено геоботаническое обследование с описанием растительного покрова. В Шерстобитовском ряме в настоящее время представлен березово-сосново-кустарничково-сфагновый фитоценоз. Густой древесный ярус образован сосной обыкновенной (Pinus sylvestris L.) и березой пушистой (Betula pubescens Ehrh.). Травяно-кустарничковый ярус с суммарным проектным покрытием до 80 % представлен багульником болотным (Ledum palustre L.) –40 %, кассандрой (Chamaedaphne calyculata (L.) Moench) - 15 %, в меньшей степени клюквой мелкоплодной (Охусосcus microcarpus Turcz. ex Rupr.), брусникой обыкновенной (Vaccinium vitisidae L.), пушицей влагалищной (Eryophorum vaginatum L.), морошкой (Rubus chamaemorus L.). Напочвенный моховой покров из сфагновых мхов Sphagnum russowii Warnst. и S. magellanicum Brid. с примесью S. angustifolium (Russ. ex Russ.) C. Jens. и S. fuscum (Schimp.) H. Klinggr. сплошной, хорошо развитый.

Убинский горелый рям представлен пирогенным березово-осиново-кустарничковым фитоценозом. Густой древесный ярус образован молодыми осинами (*Populus tremula* L.) и березами (*B. pubescens*). Травяно-кустарничковый ярус, с суммарным проективным покрытием до 70 %, образован багульником болотным (30 %), брусникой обыкновенной (25 %), в меньшей степени голубикой (*Vaccinium uliginosum* L.), осокой (*Carex limosa* L.). Моховой покров из гипновых (зеленых) мхов фрагментарный.

В Убинском горелом и Шерстобитовском рямах основными растениями-торфообразователями слоев верхового торфа являлись сфагновые мхи *Sphagnum fuscum* и *S. magellanicum*. Под влиянием антропогенных факторов (мелиорация, пожары) в Убинском горелом ряме в настоящее время исчез их напочвенный покров.

На Шерстобитовском ряме пробоотборочным буром БТГ-1 получен керн торфа с ненарушенной стратификацией до глубины 40 см. Керн торфа, герметично упакованный в пластиковую трубу, до проведения химических анализов хранился в холодном помещении кернохранилища.

В середине марта 2018 г. отобраны представительные пробы снега для оценки уровня атмосферного поступления радиоизотопов $^{210}\text{Pb}_{\text{атм}}$, ^{7}Be и ^{137}Cs на поверхность исследуемых верховых болот. Образцы снега отбирались на всю глубину снежного покрова с фиксированной площади отбора. Это позволило получить усредненную информацию об атмосферных выпадениях за четырехмесячный зимний период устойчивого снегонакопления. Объем образцов составлял 40 л снега, из которых при таянии получалось до 20 л талой воды. Пробоподготовка образцов для анализа заключалась в отстаивании талой воды до выпадения крупной фракции взвешенного вещества в осадок с последующей декантацией (сливание раствора с осадка). Затем проводили последовательное фильтрование декантированного раствора для отделения мелкодисперсных твердых фракций через два фильтра: «синяя лента» (средний размер пор 3 мкм) и мембранный фильтр (0,45 мкм). Это позволило выделить две компоненты взвешенного вещества размерностью более 3 мкм и от 3 до 0,45 мкм, представляющие собой пылевые частицы различных размеров. Фракции, содержащие наночастицы размерностью менее 0,45 мкм коллоидной и растворенной составляющих, выделены выпариванием последовательно отфильтрованного через фильтр «синяя лента» и мембранный фильтр декантированного раствора до сухого остатка.



Для радиоэкологических исследований на антропогенно нарушенном пожарами Убинском горелом ряме отобраны индикаторные виды растений (зеленые и сфагновые мхи, листья березы и брусники). Отбор проб лесной подстилки и дерновой почвы (верхние 5 см) проводили стандартным стальным кольцом (диаметр 82 мм, высота 50 мм, объем 264 см³).

Определение активности радиоизотопов уранового ряда (²³⁸U (²³⁴Th), ²²⁶Ra, ²¹⁰Pb), ¹³⁷Cs, ⁴⁰К в образцах торфа (во взвешенном веществе снеговой воды дополнительно еще и ⁷Ве) осуществлялось методом высокоразрешающей полупроводниковой гамма-спектрометрии с использованием HPGe низкофоновых детекторов колодезного типа EGPC192-P21-R (EURISYS MESURES) и GWL-220-15 (ORTEC). Paбочий объем детекторов около 200 см³, разрешение лучше 2,1 кэВ на энергии 1,33 МэВ. Измерения выполнялись в Центре коллективного пользования научным оборудованием для многоэлементных и изотопных исследований Института геологии и минералогии СО РАН (ЦКП МИИ СО РАН). Методика, подробно описанная в работах [2, 30], учитывает влияние ряда мешающих факторов: геометрии измерения, плотности анализируемого образца, наложения мешающих пиков и эффекта каскадного суммирования аналитических гамма-линий. Для определения радиоизотопов использовались следующие аналитические гамма линии (кэВ): ²¹⁰Pb 46,5, ²²⁶Ra 186,1, ²³⁸U (²³⁴Th) 63,3, ¹³⁷Cs 661,7, ⁴⁰K 1460,8 и ⁷Ве 477,6. Нижний предел обнаружения указанных радиоизотопов составляет 0,02 Бк. Длительность измерения единичного образца варьировалась от 12 до 48 ч и выбиралась исходя из необходимости получения статистической погрешности определения площадей аналитических фотопиков не хуже 5 %.

Правильность и воспроизводимость анализа контролировались измерениями национальных геологических стандартных образцов СГ-1A, СГ-3, СГ-2, ДВГ, ДВТ, ЗУК-1, БИЛ-1, СТ-1A [33].

Радиоизотопный состав атмосферных выпадений (снеговая вода)

На основе полученных аналитических данных по содержанию ²¹⁰Pb_{атм}, ⁷Be и ¹³⁷Cs в исследованных образцах снега были рассчитаны удельные активности и плотности выпадения радиоизотопов в точках пробоотбора на Шерстобитовском и Убинском рямах. Полученные результаты соответствуют суммарному атмосферному поступлению радиоизотопов за четырехмесячный зимний период устойчивого снегонакопления. Все данные приведены к дате отбора проб снега 11.03.2018 г. (табл. 1).

Удельные активности 210 Pb $_{aтм}$, 7 Be и 137 Cs в снеговой воде с учетом вклада всех гранулометрических фракций взвешенного вещества для образцов снега, отобранных на Шерстобитовском ряме, составляют 345, 505 и 5,77 мБк/л, на Убинском горелом ряме – 383, 484 и 2,08 мБк/л, соответственно. Расчетные значения плотностей выпадения ²¹⁰Pb_{атм} на Шерстобитовском (36,9 $\,\mathrm{Бr/m^2}$) и Убинском (39,3 $\,\mathrm{Бr/m^2}$) рямах, а также 7 Ве на Шерстобитовском (53,9 Бк/м 2) и Убинском (50,0 Бк/м²) близки по значениям, несмотря на расстояние между рямами 110 км. Это свидетельствует о достаточно равномерном по площади характере поступления этих радионуклидов в составе снеговых выпадений. Учитывая короткий период полураспада ⁷Ве, реальная плотность его выпадения в зимний период будет существенно выше значений, приведенных в табл. 1. Если предположить, что поступление ⁷Ве носило по времени равномерный характер, то плотность его выпадения за весь

Таблица 1Удельные активности взвешенного вещества снеговой воды и плотности выпадения радиоизотопов в точках отбора образцов снега на Шерстобитовском и Убинском горелом рямах

Место отбора образца	Фракция	Плотность выпадения, Бк/м² Уде				і активност іеговая вод	, ,	⁷ Ве/ ²¹⁰ Рb _{атм}	
		²¹⁰ Рb _{атм}	⁵Be	¹³⁷ Cs	²¹⁰ Рb _{атм}	⁷ Be	¹³⁷ Cs		
	1	9,7	6,8	0,11	90	64	1,1	0,71	
Шерстобитовский рям	2	18,7	13,8	0,16	175	129	1,5	0,74	
	3	3,6	2,7	0,07	34	25	0,67	0,74	
	4	4,9	30,6	0,27	46	287	2,5	6,2	
Bcero		36,9	53,9	0,61	345	505	5,77	1,5	
Убинский горелый рям	1	16,1	11,5	0,08	157	112	0,76	0,71	
	2	14,8	12,5	< 0,01	144	122	0,04	0,85	
	3	4,5	3,0	0,03	44	29	0,30	0,66	
	4	3,9	23	0,10	38	221	0,98	5,8	
Bcero		39,3	50,0	0,21	383	484	2,08	1,3	

Примечание. Фракции: 1 – крупнозернистая (вещество >3 мкм, оставшееся после декантации), 2 – >3 мкм (вещество, осевшее при фильтровании снеговой воды на фильтр «синяя лента»), 3 – мелкодисперсная 0,45–3 мкм (вещество, осевшее при последовательном фильтровании через мембранный фильтр), 4 – мелкодисперсная <0,45 мкм (коллоидная и растворенная составляющие).



период снегонакопления с учетом радиоактивного распада можно оценить согласно методике [22] на уровне 112 Бк/м² для Шерстобитовского ряма и 104 Бк/м² для Убинского. Следует отметить низкие по сравнению с 210 Pb $_{atm}$ и 7 Be удельные активности ¹³⁷Cs во взвешенном веществе снеговых вод Шерстобитовского и Убинского рямов – 5,77 и 2,08 мБк/л соответственно. Это подтверждает незначительное современное поступление указанного техногенного радионуклида из атмосферы на земную поверхность. Следует отметить, что удельные активности ¹³⁷Cs в исследованных образцах близки к пределу обнаружения использованного аналитического метода. Соответственно, погрешность их определения часто превышает 20-30 %, что делает невозможным совместную с 210 Pb $_{atm}$ и 7 Be статистическую интерпретацию данных, полученных для ¹³⁷Cs.

Изучен долевой вклад гранулометрических фракций взвешенного вещества снеговых вод в общую удельную активность 210 Pb $_{arm}$ и 7 Be (табл. 2).

Сравнительный анализ вкладов гранулометрических фракций показал следующее.

- 1. Большая часть ⁷Ве (46—57 %) связана с мелкодисперсной фракцией взвешенного вещества размерностью менее 0,45 мкм. В этой фракции удельная активность ⁷Ве в 5,8—6,2 раза выше таковой ²¹⁰Рb_{атм} (см. табл. 1). Доля крупнозернистой фракции взвешенного вещества в общей активности ⁷Ве составляет для Шерстобитовского ряма 38 %, для Убинского горелого 48 %.
- 2. Доля взвешенного вещества с размером фракции от 0,45 до 3 мкм невелика как для 210 Pb $_{\rm атм}$, так и для 7 Be во всех исследованных пробах снеговой воды и не превышает 11 %.
- 3. Основная доля ²¹⁰Pb_{атм} (77–79 %) в изученных образцах взвешенного вещества снеговых вод находится в составе крупнозернистой фракции, в основном представленной пылевыми частицами различной размерности.

Таблица 2 Доля гранулометрических фракций (%) взвешенного вещества образцов снега в общей активности исследуемых радиоизотопов

Рям	Фракция	²¹⁰ Рb _{атм}	⁵Be	¹³⁷ Cs
Шерстоби- товский	1–2	77	38	44
	3	10	5	12
	4	13	57	44
Убинский горелый	1–2	79	48	37
	3	11	6	15
	4	10	46	48

Примечания. 1-2 – сумма фракций (вещество: 1-3 мкм, оставшееся после декантации, 2-3 мкм, осевшее при фильтровании снеговой воды на фильтр «синяя лента»; мелкодисперсные фракции: 3-0,45-3 мкм (вещество, осевшее при последовательном фильтровании через мембранный фильтр), 4-30,45 мкм (коллоидная и растворенная составляющие).

Таким образом, основным концентратором радиоизотопа ⁷Ве является мелкодисперсная фракция, состоящая из коллоидов и растворенной компоненты (фракция <0,45 мкм), а ²¹⁰Рb_{атм} концентрируется преимущественно в крупнозернистой фракции взвешенного вещества (>3 мкм), состоящей из пылевых частиц.

Важной величиной, характеризующей источник поступления радиоизотопов на земную поверхность, является отношение ${}^{7}\text{Be}/{}^{210}\text{Pb}_{\text{атм}}$ [41]. Данные табл. 1, показывают, что крупнозернистым фракциям взвешенного вещества снеговых вод размерностью более 0,45 мкм соответствуют очень близкие значения отношения ${}^{7}\text{Be}/{}^{210}\text{Pb}_{atm}$: 0,71–0,74 (среднее 0,73) для Шерстобитовского ряма и 0,66-0,85 (среднее 0,74) для Убинского. Такая близость отношений 7 Be/ 210 Pb $_{atm}$ свидетельствует об одном и том же источнике пылевых частиц, выпадавших в местах точек пробоотбора. Эта пыль, скорее всего, представляет собой почвенные частицы, поднятые в результате ветровой эрозии с поверхности и принесенные с континентальными воздушными массами из засушливых областей центральной Евразии. В этой крупнозернистой фракции наблюдаются существенно более низкие по сравнению с фракцией <0,45 мкм (6,2 и 5,8) значения отношений 7 Be/ 210 Pb $_{aтм}$. Учитывая короткий период полураспада ⁷Ве, следует предположить, что такие частицы наследуют исходные значения 7 Be/ 210 Pb $_{_{\text{атм}}}$, свойственные им изначально при их нахождении в верхних горизонтах почвенного покрова.

На основе данных табл. 1, 2 можно констатировать, что разделение по гранулометрическим фракциям взвешенного вещества снеговых вод показывает: исследуемые радиоизотопы присутствуют во всех выделенных фракциях — от самых крупных (>3 мкм) до самых мелких (<0,45 мкм), связанных с наноразмерными аэрозольными частицами, коллоидами и растворенной компонентой. Удельные активности ¹³⁷Cs во взвешенном веществе снеговых вод Шерстобитовского и Убинского рямов (5,77 и 2,08 мБк/л соответственно) значительно меньше по сравнению с таковыми ²¹⁰Pb_{атм} и ⁷Be, что свидетельствует о незначительных современных содержаниях данного радионуклида в атмосфере.

Распределение радиоизотопов в вертикальном профиле Шерстобитовского торфяника

Впервые для верховых болот лесостепной зоны Западной Сибири получены данные по распределению естественных (²³⁸U, ²¹⁰Pb, ²²⁶Ra, ⁴⁰K) и техногенного (¹³⁷Cs) радиоизотопов в разрезе Шерстобитовского торфяника (табл. 3). Его торфяной керн состоит из верховых торфов. Верхний слой до глубины 25 см образован в основном остатками сфагновых мхов (*S. magellanicum* и *S. angustifoliun*), слой 25–35 см – сосново-сфагновым торфом (остатки сосны составляют 30 %), слой 35–40 см – сосновым торфом.

Форма кривой распределения $^{210}{\rm Pb}$ по глубине исследованного торфяного керна Шерстобитовского



Таблица 3 Содержания радиоактивных элементов в вертикальном профиле торфяной залежи Шерстобитовского торфяника

Интервал, м ²³⁸ U, Б	23811 5/	11 -/-	²²⁶ Ra	²¹⁰ Pb	⁴⁰ K	K O 9/	¹³⁷ Cs, Бк/кг	Ra/U
	U, BK/KI	U <i>,</i> г/τ		Бк/кг		K ₂ O, %		
0–2	14	1,1	18	593	42	0,17	54	1,3
2–4	2,6	0,2	17	585	<25	<0,10	54	6,5
4–6	2,8	0,2	16	619	71	0,28	99	5,7
6–8	6,7	0,5	25	478	114	0,45	169	3,7
8-10	6,5	0,5	25	333	42	0,17	35	3,8
10-12	11	0,9	15	224	35	0,14	17	1,4
12-14	<2,5	<0,2	17	176	<25	<0,10	15	>6,8
14–16	<2,5	<0,2	19	112	27	0,11	15	>7,6
16-18	<2,5	<0,2	20	110	<25	<0,10	12	>8,0
18-20	<2,5	<0,2	28	108	<25	<0,10	12	>11,2
20-22	<2,5	<0,2	18	120	<25	<0,10	18	>7,2
22-25	<2,5	<0,2	18	111	49	0,19	33	>7,2
25-30	10	0,8	21	121	30	0,12	31	2,1
30-35	16	1,3	24	38	<25	<0,10	9	1,5
35-40	<2,5	<0,2	21	22	<25	<0,10	6	>8,4

Примечание. Массовые содержания U и K_2O рассчитаны через удельные активности ²³⁸U и ⁴⁰K, исходя из соотношений: активность 1 мг U соответствует 12,432 Бк U²³⁸; 1 % K_2O – 251,61 Бк ⁴⁰K.

ряма позволяет провести датирование верхних горизонтов до глубины 35 см. Неравновесный 210 Pb (Pb_{ev}), постоянно выпадающий на поверхность из атмосферы, часто используется для датирования верхних (приповерхностных) слоев омбротрофных торфяников возрастом до 150-200 лет [15, 18, 25, 28, 31, 34, 39, 43, 45]. 210 Pb ($T_{1/2}$ 22,3 года) – естественный радиоактивный элемент, входящий в радиоактивный ряд 238 U. Источником Pb_{ex} в атмосфере является радон. Радон ²²²Rn, будучи продуктом распада ²²⁶Ra и газом, эманирует с земной поверхности. Имея период полураспада 3,82 дня, ²²²Rn в течение короткого промежутка времени через ряд короткоживущих изотопов распадается в ²¹⁰Pb. В момент образования атомы радона и продукты его распада электрически заряжены, что приводит к их быстрой сорбции аэрозольными и пылевыми частицами, находящимися в атмосфере, в составе которых Рьех постепенно оседает на земную поверхность. Этот процесс носит непрерывный характер. Попавший на поверхность стратифицированных объектов, таких как озерные донные осадки или торфяные залежи, Pb_{ex} постепенно перекрывается более молодыми образованиями. При отсутствии процессов, приводящих к вертикальной миграции, дальнейшая судьба захороненного Pb_{ex} определяется законом его радиоактивного распада. Это и лежит в основе методов датирования стратифицированных образований по неравновесному ²¹⁰Pb. Как правило, для датирования верхних горизонтов омбротрофных торфяников используют модель постоянного потока Pb_{ev} (CRS – Constant Rate of Supply) [23, 24]. Модель CRS применительно к датированию торфяных залежей предполагает наличие двух основных начальных

условий: 1) скорость выпадения Pb_{ex} из атмосферы является величиной постоянной на протяжении всего периода накопления материала; 2) значимое вертикальное перераспределение Pb_{ex} после его захоронения отсутствует. Модель учитывает возможность изменения темпов наращивания биомассы на протяжение всего датируемого периода.

Согласно CRS модели возраст нижней поверхности датируемого горизонта рассчитывается по формуле [23, 44]:

$$t(i) = \lambda^{-1} \ln(A(0)/A(i)),$$

где i — номер датируемого горизонта; λ — постоянная распада ²¹⁰Pb (год⁻¹); кумулятивный запас Pb_{ex} (Бк·м⁻²): A(0) — в датируемом разрезе торфяника , A(i) —ниже датируемого горизонта.

Кумулятивный запас Pb_{ex} рассчитывается через удельные активности ²¹⁰Pb, определенные использованным аналитическим методом для каждого горизонта датируемого разреза, при этом учитываются данные о плотности сухого вещества в исследуемом материале торфяника. Активность неравновесного (атмосферного) Pb_{ex} равна разности полной активности ²¹⁰Pb, находящегося в образце, и активности ²¹⁰Pb, состоящего в радиоактивном равновесии с материнским ²²⁶Ra. Помимо датирования верхних горизонтов торфяной залежи модель CRS позволяет провести оценку скоростей накопления сухого материала по формуле:

$$r(i) = \lambda A(i)/C(i)$$
,

где C(i) — удельная активность Pb_{ex} на поверхности, разделяющей датируемые слои i и i+1.



Таблица 4

Возрастные характеристики верхней части Шерстобитовского торфяника

Интервал, см	<i>P</i> , г см ⁻³	<i>Сі,</i> Бк кг⁻¹	i, cm	<i>Ai,</i> Бк м ⁻²	<i>A(i)</i> , Бк м ⁻²	t(i), лет	Год формирования	<i>r(i),</i> г см⁻² год⁻¹
			0	0	2762	0	2013	
0–2	0,0353	575	2	406	2356	5	2008	129
2–4	0,0353	568	4	401	1955	11	2002	104
4–6	0,0364	603	6	439	1516	19	1994	90
6–8	0,0375	453	8	340	1176	27	1986	96
8–10	0,0375	308	10	231	945	34	1979	114
10–12	0,0411	209	12	172	773	41	1972	131
12-14	0,0411	159	14	131	642	47	1966	159
14–16	0,0394	93	16	73	569	51	1962	194
16–18	0,0376	90	18	68	502	55	1958	184
18–20	0,0376	80	20	60	441	59	1954	151
20–22	0,0422	102	22	86	355	66	1947	114
22–25	0,0422	93	25	118	238	79	1934	77
25–30	0,0404	100	30	202	36	140	1873	19
30–35	0,0470	14	35	33	3	223	1790	11
35–40	0,0524	1	40	-	-	1	_	_

Примечание. P – плотность сухого вещества торфа в интервале; Ci – удельная активность Pb_{ex} в интервале; i – датируемый горизонт; Ai – запас Pb_{ex} в интервале; A(i) – кумулятивный запас Pb_{ex} ниже датируемого горизонта; r(i) – скорость накопления сухого торфа.

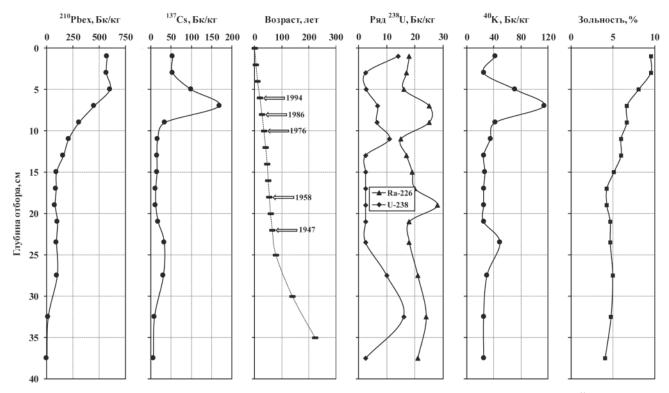


Рис. 2. Вертикальное распределение радиоактивных элементов и возрастные характеристики верхней части разреза Шерстобитовского торфяника

Результаты расчета возрастных характеристик верхней части Шерстобитовского торфяника представлены в табл. 4 и на рис. 2.

Использование модели CRS позволило выполнить надежное датирование до горизонта 30 см, которому соответствует возраст 140 лет. Верифика-

цию правильности использованного подхода можно провести по характеру распределения техногенного ¹³⁷Cs, поступление которого в торфяную залежь связано с локальными и глобальными выпадениями, обусловленными вовлечением этого изотопа в атмосферную миграцию в результате открытых ядер-



ных испытаний на Семипалатинском и других полигонах в 1949—1963 гг., аварий на Чернобыльской (1986 г.) и Фукусимской (2011 г.) атомных электростанциях (АЭС). На графике вертикального распределения ¹³⁷Сs, представленного на рис. 2, в нижней части разреза наблюдается пик активности, верхняя граница и максимум которого, вполне вероятно, соответствует возрастному рубежу 1949—1963 гг.

Некоторая размытость пика связана, видимому, с механизмами перераспределения ¹³⁷Cs вследствие значительных колебаний как сезонных, так и годовых уровней болотных вод (УБВ), характерных для зоны нестабильной тепловлагообеспечености [3]. Смещению этого пика, т. е. диффузии ¹³⁷Cs в нижележащие слои торфяной залежи, могло способствовать повышение обводненности болота в условиях направленного понижения температуры и повышения осадков в 1967-1986 гг., согласно данным метеостанции Барабинска [4]. В условиях более прохладного и влажного климата возрастает продолжительность нахождения верхних горизонтов залежи во влажном состоянии, что должно способствовать диффузии 137Сѕ в нижезалегающие слои торфа. Диффузия 137Сs происходила в слое сфагновых торфов, резко снижаясь, судя по активности радионуклида, в слоях сосново-сфагнового и соснового торфов.

В верхней части графика распределения ¹³⁷Сѕ наблюдается ярко выраженный пик его содержания, на временной шкале соответствующий середине 1980-х – 1990-м гг., а время формирования максимума определяется интервалом 1986-1990 гг. Частично такое увеличение удельной активности ¹³⁷Cs можно было бы связать с выпадениями, связанными с аварией на Чернобыльской АЭС в 1986 г. Но только этой причиной столь значимое увеличение объяснить нельзя. Скорее всего, здесь на незначительный вклад чернобыльской компоненты наложилось влияние других источников поступления ¹³⁷Cs. Обычно максимум его содержания в торфах разных регионов Голарктики характерен для слоя торфа, отложившегося в период массовых ядерных испытаний [29]. В южнотаежной подзоне Западной Сибири, в условиях более гумидного климата по сравнению с лесостепью, этот пик ¹³⁷Cs (принят как 1963 г.), находится на разных глубинах торфяных отложений. При этом выявляется тенденция зависимости глубины расположения пика ¹³⁷Cs от степени стабильности водного режима и активности торфонакопления: на нативных активно растущих болотах ¹³⁷Cs обнаружен на глубинах 31–43 см, на естественно и антропогенно дренированных -16-21 см, а на осушенных - 9-12 см [14]. Это сходно с верхним пиком ¹³⁷Cs в торфяных отложениях Шерстобитовского ряма, поскольку керн этого ряма отобран на периферийной части болота, водный режим которого также несколько нарушен созданием обводного канала мелиоративной сети, либо в понижении между сфагновыми кочками, где прирост торфа обычно очень низкий. Однако данный керн отличается от южнотаежных наличием двух пиков ¹³⁷Сs, что не позволяет датировать верхний пик на глубине 8 см 1963 годом.

Известно [1], что эффект колебания уровней почвенно-грунтовых вод (или уровней болотных вод. – Прим. авт.) является основной причиной, определяющей границу вертикальной миграции ¹³⁷Cs в торфяниках. Согласно данным метеостанции Барабинска [4], с 1987 до 2009 гг. повышались температуры воздуха и понижалось количество среднегодовых и летних осадков. В условиях аридизации климата усиливаются колебания УБВ, который резко понижается в теплые сезоны года. В отличие от более прохладного и влажного периода 1967-1986 гг., когда транспирация болотными растениями (испарение воды через устьица листьев) была менее активной, резкое ее возрастание в жарких сухих условиях обусловливает активное подтягивание болотных вод и биофильный перенос микроэлементов корнями растений из нижезалегающих торфяных горизонтов. Известно, что ¹³⁷Cs замещает биофильный элемент ⁴⁰К в биохимических циклах продуцирования органического вещества растений [6]. Особенно активен этот процесс замещения на верховых болотах, для которых характерен дефицит калия. Поэтому вполне вероятно, что пик ¹³⁷Cs на глубине 8 см в значительной степени обусловлен переносом основного количества ¹³⁷Cs, отложившегося в 1949–1963 гг., в вышезалегающие горизонты. Это объясняет и малую активность нижнего пика ¹³⁷Cs. Значит, разный характер перераспределения ¹³⁷Cs в торфяных отложениях Барабинской лесостепи в разные временные периоды в значительной степени обусловлен различием их климатических параметров.

Предположение о значительном влиянии колебаний уровня болотных вод на миграцию 137 Cs подтверждается еще двумя фактами.

Во-первых, согласно данным, полученным с помощью автоматического регистратора (АКР4-логеры) уровня болотных вод (УБВ), установлены значительные сезонные колебания УБВ Шерстобитовского ряма с сентября 2017 по сентябрь 2018 г. В период снеготаянья УБВ поднялся с 80 см (март 2018 г.) до 35 см (апрель) и продолжал подниматься до 10 см от поверхности (май). Летом УБВ снижался с характерными резкими подъемами после выпадения осадков и плавным снижением из-за испарения и стока до 30 см. Самые высокие значения стояния УБВ в Шерстобитовском ряме (до 10 см от поверхности) зарегистрированы в весенний период в точке отбора керна торфа, что соответствует верхнему пику 137Cs.

Во-вторых, характер вертикального распределения изотопа ⁴⁰К (см. табл. 3, рис. 2), являющегося геохимическим аналогом Сs, практически полностью совпадает с распределением ¹³⁷Cs. Также здесь при общем низком уровне содержаний калия



(<25 Бк/кг 40 К, при пересчете на ${\rm K_2O}$ <0,1 %) в горизонтах 4–12 и 22–30 см наблюдаются повышенные активности 40 К, достигающие пика 114 и 49 Бк/кг, соответственно. В летний период при возрастании транспирации (испарения) воды через устьица листьев растений происходит подтягивание болотных вод и активный перенос корнями растений не только биофильного 40 К, но и 137 Сѕ из нижезалегающих торфяных горизонтов.

Таким образом, значительные колебания УБВ обусловливают как размытость, так и смещение пиков активности ¹³⁷Cs, что необходимо учитывать при использовании их для датирования торфяных отложений.

Кроме этого, увеличению удельной активности ¹³⁷Cs верхнего пика в условиях аридизации климата должны были способствовать частые пожары. Известно, что неоднократные пожары имели место практически на всех рямах Барабинской лесостепи. О загрязненности атмосферы региона свидетельствует повышение зольности верхнего 15-сантиметрового слоя торфа Шерстобитовского ряма с 4,3 до 6,0-9,6 % при отсутствии в нем угольков - следов пожаров на данном участке. Это нельзя объяснить только глобальным антропогенным загрязнением атмосферы, так как с 1985 г. она начала очищаться, в том числе над Западной Сибирью [13]. О значительном выгорании торфа на болотах Барабинской лесостепи, в частности на Убинском горелом ряме [5], свидетельствует возрастание зольности в поверхностных слоях горелого торфа (0-22 см) с 3,7 до 14,5 %, в среднем до 6,4 %., а также и залегание прямо на поверхности (0-6 см) слоев торфа с максимальной активностью ¹³⁷Cs (158–196 Бк/кг) на горелом участке ряма. Следовательно, в высокую активность ¹³⁷Cs верхнего пика в керне Шерстобитовского ряма вполне вероятен дополнительный вклад вторичного выпадения из атмосферы этого радиоизотопа в результате пожаров.

Интересен характер вертикального распределения ²³⁸U и ²²⁶Ra, входящих в естественный радиоактивный ряд урана. Активность ²²⁶Ra по разрезу меняется в узком интервале (от 15 до 25, в среднем 20 Бк/кг). Активность ²³⁸U значительно ниже, что свидетельствует о существенном нарушении радиоактивного равновесия между ураном и радием в пользу последнего. Так, отношение Ra/U меняется в очень широком диапазоне, достигая минимальных значений 1,3, 1,4, 1,5 и 2,1 в горизонтах 0-2, 10–12, 30–35 и 25–30 см соответственно, а наибольших – в горизонтах 2-6, 12-25 и 35-40 см, достигая максимума (11,2) в горизонте 18-20 см. Такое нарушение радиоактивного равновесия между ²³⁸U и ²²⁶Ra не является чем-то необычным. ²²⁶Ra интенсивно поглощается растениями. Его коэффициенты биологического поглощения (КБП), рассчитываемые как отношения удельных активностей радионуклида в золе растительности и почвы обычно больше 1 [20, 37]. Более того, ранее было показано [11],

что наиболее высокие значения КБП наблюдаются у древесных видов — рябины обыкновенной и березы пушистой, в них концентрации радионуклида могут превышать таковую в почве до 1575 и 399 раз соответственно. Для травянистых видов КБП ниже, но могут достигать значений существенно больше 1. Например, КБП иван-чая узколистного может быть до 14,8, дудника лесного — 1,98. Таким образом, растительность, прежде всего некоторые древесные виды, можно отнести к концентраторам ²²⁶Ra. Для ²³⁸U КБП выше 1 не характерны, а КБП ²²⁶Ra больше их на 1—2 порядка для травянистых видов растительности и на 2—4 порядка — для древесных.

Из всего сказанного следует, что в естественных условиях растительность будет накапливать ²²⁶Ra гораздо более интенсивно, чем ²³⁸U. В табл. 5 представлены результаты определения содержаний радиоактивных элементов в компонентах биогеоценоза Убинского горелого ряма, отобранных на фоновом (негорелом) участке. Эти данные показывают, что нарушение радиоактивного равновесия в пользу ²²⁶Ra в паре U-Ra наблюдается для всех изученных образцов. В лесной подстилке и верхнем (дерновом) горизонте почв ²²⁶Ra в 1,59 раз больше его равновесных содержаний. Еще больший избыток ²²⁶Ra наблюдается в зеленом мхе Polytrichum commune Hedw. (1,7) и сфагновом мхе Sphagnum magellaniсит (2,13). Как и ожидалось, наибольшие значения отношений Ra/U встречаются в наземной растительности: в листьях березы оно заведомо больше 10, в листьях брусники – 14,7. Таким образом, во всех компонентах фитоценоза, остатки которых и формируют торфяную залежь, наблюдается значительный избыток ²²⁶Ra относительно его равновесных содержаний. С учетом большого периода полураспада ²²⁶Ra (около 1500 лет) такое состояние может сохраняться на протяжении очень длительного промежутка времени (5-6 периодов полураспада радия), при условии отсутствия процессов, приводящих к значительной миграции урана и радия. Из табл. 3 видно, что содержания ²²⁶Ra в горизонте 35-40 см близки к среднему значению по разрезу и составляют 21 Бк/кг. Содержания ²³⁸U здесь низкие и не превышают 2,5 Бк/кг. В это же время активность ²¹⁰Pb, составляющая 22 Бк/кг, близка к равновесным с ²²⁶Ra значениям. Это говорит о том, что избыточный (атмосферный) $^{210}\text{Pb}_{ex}$ уже распался. Все количество ²¹⁰Pb, находящегося в данном горизонте, связано исключительно с радиоактивным распадом ²²⁶Ra. Совокупность этих фактов показывает, что как минимум последние 250 лет в исследуемом районе отсутствовали процессы, которые могли бы привести к значительному выносу или привносу исследуемых радиоактивных элементов в пределах изученного объекта. Следует отметить, что в характере вертикального распределения ²²⁶Ra и ²³⁸U прослеживается та же закономерность, что для ¹³⁷Cs и 40 К. В горизонтах 6-12 см, а также в нижней части разреза (25-35 см) наблюдается подъем активнос-



Таблица 5

Радиоактивные элементы в компонентах биогеоценоза на фоновом участке Убинского горелого ряма

Компонент биогеоценоза	11 220 -/-	U-238	Pb-210	Ra-226	Cs-137	W O 0/	K 40 F./	LI/Do
	U-238, г/т		Бк	/кг	- K₂O, %	К-40, Бк/кг	U/Ra	
Дерновая почва	0,65 0,47–0,69	8,1 5,8–8,6	<u>596</u> 643–753	12,9 7,2–15,1	203 174–279	0,47 0,27–0,56	<u>117</u> 68–141	1,59
Подстилка	0,26 0,16–0,32	3,2 2,0–4,0	721 603–856	5,1 4,9–5,2	113 83–150	0,25 0,24–0,26	<u>63</u> 60–65	1,59
Mox Polytrichum commune	0,16 0,11–0,23	2,0 1,4–2,9	419 307–547	3,4 3,0–3,9	65 61–74	0,38 0,31–0,49	95 79–123	1,70
Mox Sphagnum magellanicum	0,14 0,13–0,14	1,7 1,6–1,8	397 374–419	3,3 3,1–3,4	64 61–67	0,52 0,49–0,54	130 123–136	1,94
Лист березы	<0,01	<0,15	<u>65</u> 59–75	1,5 1,2–1,8	<u>18</u> 18–19	0,53 0,46–0,51	133 116–154	>10,0
Лист брусники	0,02 0,02–0,03	0,29 0,20–0,36	60 55-70	<u>4,4</u> 3,8–4,7	18 16–20	0,31 0,27–0,34	79 133–185	14,7

тей указанных радионуклидов. Это свидетельствует о том, что кривые вертикального распределения этих радиоактивных элементов в Шерстобитовском торфянике формировались во многом за счет одних и тех же процессов.

Выводы

Удельные активности $^{210}{\rm Pb}_{\rm aтm}$, $^{7}{\rm Be}$ и $^{137}{\rm Cs}$ в снеговой воде с учетом вклада всех гранулометрических фракций взвешенного вещества для образцов снега, отобранных на Шерстобитовском ряме, составляют 345, 505 и 5,77 мБк/л, на Убинском горелом ряме — 383, 484 и 2,08 мБк/л соответственно. Удельные активности $^{137}{\rm Cs}$ значительно меньше по сравнению с таковыми $^{210}{\rm Pb}_{\rm atm}$ и $^{7}{\rm Be}$, что свидетельствует о незначительных современных содержаниях этого радионуклида в атмосфере.

Расчетные значения плотностей выпадения ²¹⁰Pb_{атм} и ⁷Be на Шерстобитовском (36,9 и 53,9 Бк/м² соответственно) и Убинском горелом (39,3 и 50,0 Бк/м²) рямах близки, несмотря на удаленность рямов друг от друга на 110 км. Это подтверждает, что характер поступления данных радионуклидов в составе снеговых выпадений был достаточно равномерным по площади.

Установлены долевые вклады гранулометрических фракций взвешенного вещества снеговых вод в общую удельную активность ²¹⁰Pb_{атм} и ⁷Be. Большая часть ⁷Be (46–57 %) связана с мелкодисперсной фракцией взвешенного вещества (<0,45 мкм), представленной наноразмерными аэрозольными частицами, коллоидами и растворенной компонентой. Основная доля ²¹⁰Pb_{атм} (77–79 %) концентрируется преимущественно в крупнозернистой фракции взвешенного вещества (>3 мкм), состоящей из пылевых частиц. Доля взвешенного вещества с размером фракции 0,45–3 мкм невелика как для ²¹⁰Pb_{атм}, так

и 7 Ве во всех исследованных пробах снеговой воды и не превышает 11 %.

Оценка возраста верхней части Шерстобитовского торфяника, проведенная по неравновесному ²¹⁰Pb, позволила установить перераспределение ¹³⁷Cs и ⁴⁰K со смещением к верхним горизонтам. Это можно связать с тремя процессами: сезонным колебанием УБВ, подтягиванием корнями болотных растений при возрастании транспирации (испарения) воды через устьица листьев в сухое время года, дополнительным поступлением ¹³⁷Cs, вовлеченного в атмосферу в результате торфяных и лесных пожаров.

Для исследованной залежи Шерстобитовского торфяника наблюдается нарушение радиоактивного равновесия между ²³⁸U и ²²⁶Ra в пользу последнего. По глубине изученного разреза значения отношения ²²⁶Ra/²³⁸U больше 1: от 1,3 в горизонте 0–2 см до 11,2 на глубине 18–20 см. Такие же значения характерны и для основных компонентов биогеоценоза, формирующих торфяную залежь.

Работа выполнена по государственному заданию ИГМ СО РАН при частичной финансовой поддержке регионального проекта РФФИ № 17-45-540063p_а «Комплексный геоэкологический мониторинг верховых болот Барабинской лесостепи Западной Сибири (Новосибирская область)». Аналитическая работа выполнена в ЦКП многоэлементных и изотопных исследований СО РАН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. **Аккумуляция** 137 Cs в болотах междуречья Оби и Томи / Т. Т. Ефремова, Ф. В. Сухоруков, С. П. Ефремов, В. В. Будашкина // Почвоведение. 2002. № 1. С. 100—107.
- 2. Аномалии радиоактивности на южном побережье озера Иссык-Куль (Кыргызстан) / М. С. Мель-



- гунов, В. М. Гавшин, Ф. В. Сухоруков и др. // Химия в интересах устойчивого развития. 2003. Т. 11, \mathbb{N} 6. С. 869—880.
- 3. **Болота** Западной Сибири, их строение и гидрологический режим / под ред. К. Е. Иванова, С. М. Новикова. Л.: Гидрометеоиздат, 1976. 500 с.
- 4. Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации Мировой центр данных. Точка доступа: http://aisori.meteo.ru/ClimateR (дата обращения: 11.05.2020).
- 5. **Геоэкологическая** оценка степени антропогенного загрязнения тяжелыми металлами экосистем верховых болот лесостепной зоны Западной Сибири / Г. А. Леонова, А. Е. Мальцев, Ж. О. Бадмаева и др. // Экология промышленного производства. 2018. Вып. 2 (102). С. 64–73.
- 6. **Кабата-Пендиас А., Пендиас Х.** Микроэлементы в почвах и растениях. М.: Мир, 1989. 439 с.
- 7. **Летопись** потока тяжелых металлов и радионуклидов из атмосферы в болотных отложениях Карелии / В. П. Шевченко, Р. А. Алиев, О. Л. Кузнецов, А. И. Максимов // Водные и наземные экосистемы: проблемы и перспективы исследования: матер. Всерос. конф. Вологда, 2008. С. 168—171.
- 8. **Линник В. Г.** Ландшафтная дифференциация техногенных радионуклидов. М.: Изд-во РАН, 2018. 372 с.
- 9. **Лисицын А. П.** Потоки вещества и энергии во внешних и внутренних сферах Земли // Глобальные изменения природной среды. Новосибирск: Издво СО РАН, филиал «Гео», 2001. С. 163—248.
- 10. **Мезина К. А., Мельтунов М. С.** Особенности поступления ⁷Ве и ²¹⁰Рb в различных ландшафтных зонах юга Западной Сибири // Строение литосферы и геодинамика: матер. XXVIII Всерос. молодеж. конф. Иркутск: ИЗК СО РАН, 2019. С. 108–109.
- 11. **Носкова Л. М., Шуктомова И. И.** Сравнительная оценка поглощения ²³⁸U и ²²⁶Ra травянистой и древесной растительностью в условиях техногенного загрязнения // Радиационная биология. Радиоэкология. 2010. Т. 50, № 6. С. 642–648.
- 12. **Орлова Л. А., Волкова В. С.** Голоцен Барабы (стратиграфия и радиоуглеродная хронология). Новосибирск: Наука, 1990. 125 с.
- 13. **Оценка** потоков минерального вещества по свойствам торфяных отложений Бакчарского болота (южная тайга Западной Сибири) / Ю. И. Прейс, В. А. Бобров, В. В. Будашкина, В. М. Гавшин // Изв. ТПУ. 2010. Т. 316, № 1. С. 47—43.
- 14. Прейс Ю. И., Бобров В. А., Сороковенко О. Р. Особенности современной аккумуляции минерального вещества в олиготрофных болотах юга лесной зоны Западной Сибири // Вестн. ТГУ. 2010. Т. 336. С. 204—210.
- 15. **Природные** и техногенные радиоизотопы и микроэлементы в разрезе торфяной залежи верхового болота Дулиха (Прибайкалье): ретроспективные оценки атмосферного поступления минерального вещества / В. А. Бобров, В. В. Будашкина,

- М. С. Мельгунов и др. // Геология и минеральносырьевые ресурсы Сибири. -2019. -№ 2 (38). C. 93–102.
- 16. **Рихванов Л. П.** Радиоактивные элементы в окружающей среде и проблемы радиоэкологии: учебное пособие. Томск: STT, 2009. 430 с.
- 17. **Сапожников Ю. А., Алиев Р. А., Калмыков С. Н.** Радиоактивность окружающей среды. М.: БИНОМ. Лаборатория знания, 2006. 276 с.
- 18. **Свидетельства** фракционирования химических элементов в атмосфере Западной Сибири по данным исследования верхового торфяника / В. М. Гавшин, В. А. Бобров, Ф. В. Сухоруков и др. // Докл. РАН. 2004. Т. 396, № 6. С. 804–807.
- 19. **Степанова В. А., Волкова И. И.** Особенности генезиса Николаевского ряма в лесостепи Западной Сибири // Вестн. ТГУ. Биология. 2017. № 40. С. 202—223.
- 20. **Тяжелые** естественные радионуклиды в биосфере: миграция и биологическое действие на популяции и биогеоценозы / Р. М. Алексахин, Н. П. Архипов, Р. М. Бархударов и др. М.: Наука, 1990. 368 с.
- 21. **Хотинский Н. А**. О положении границы между лесом и степью в Западной Сибири в эпохи среднего и позднего голоцена // Почвоведение. 1970. № 6. С. 40–47.
- 22. **Aba A., Al-Dousari A. M., Ismaeel A.** Depositional characteristics of ⁷Be and ²¹⁰Pb in Kuwaiti dust // Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. 2016. No. 307. P. 15–23.
- 23. **Appleby P. G.** Chronostratigraphic techniques in recent sediments // Tracking Environmental Change Using Lake Sediments. Springer, Dordrecht, 2002. P. 171–203.
- 24. **Appleby P. G., Oldfield F.** The calculation of lead-210 dates assuming a constant rate of supply of unsupported 210 Pb to the sediment // Catena. 1978. Vol. 5, no. 1. P. 1–8.
- 25. Appleby P. G., Shotyk W., Fankhauser A. Lead-210 age dating of three peat cores in the Jura Mountains, Switzerland // Water, Air, and Soil Pollution. 1997. Vol. 100, no. 3–4. P. 223–231.
- 26. **Atmospheric** deposition patterns of ²¹⁰Pb and ⁷Be in Cienfuegos, Cuba / C. M. Alonso-Hernandez, Ya. Morera-Gomez, H. Cartas-Aguila, H. A. Guillen-Arruebarrena // Journal of Environmental Radioactivity. 2014. Vol. 138. P. 149–155.
- 27. **Baskaran M., Shaw G. E.** Residence time of arctic haze aerosols using the concentrations and activity ratios of ²¹⁰Po, ²¹⁰Pb and ⁷Be // Journal of Aerosol Science. 2001. Vol. 32. P. 443–452.
- 28. **Characterisation** of ²¹⁰Pb dated peat core by various X-ray fluorescence techniques / B. Holynska, B. Ostachowicz, J. Ostachowicz, et al. // Science of the Total Environment. 1998. Vol. 218, no. 2–3. P. 239–248.
- 29. **Clymo R. S.** The limits to peat bog growth // Philosophical Transhections of the Royal So-



ciety of London. – 1984. – Series B, vol. 303. – P. 605–654.

- 30. **Disequilibrium** between uranium and its progeny in the Lake Issyk-Kul system (Kyrgyzstan) under a combined effect of natural and manmade processes / V. M. Gavshin, M. S. Melgunov, F. V. Sukhorukov, et al. // Journal of Environmental Radioactivity. 2005. No. 83. P. 61–74.
- 31. **El-Daoushy F., Tolonen K., Rosenberg R.** Lead 210 and moss-increment dating of two Finnish Sphagnum hummocks // Nature. 1982. Vol. 296 (5856). P. 429–431.
- 32. **Fallout** traces of the Fukushima NPP accident in southern West Siberia (Novosibirsk, Russia) / M. S. Melgunov, N. P. Pokhilenko, V. D. Strakhovenko, et al. // Environmental Science and Pollution Research. 2012. Vol. 19, iss. 4. P. 1323–1325.
- 33. **Govindaraju K.** Compilation of working values and sample description for 383 geostandards // Geostandards Newsletters. 1994. Vol. 18, Sp. iss. P. 1–158.
- 34. **Historical** rates of atmospheric Pb deposition using ²¹⁰Pb dated peat cores: Corroboration, computation, and interpretation / M. A. Vile, M. J. V. Novák, E. Břízová, et al. // Water, Air and Soil Pollution. 1995. Vol. 79, iss. 1–4. P. 89–106.
- 35. **Holocene** climate changes in southern West Siberia based on ostracod analysis / L. B. Khazin, I. V. Khazina, S. K. Krivonogov, et al. // Russian Geology and Geophysics. 2016. Vol. 57, no. 4. P. 574–585.
- 36. Lal D., Malhotra P. K., Peters B. On the production of radioisotopes in the atmosphere by cosmic radiation and their application to meteorology // Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics. 1958. Vol. 12, no. 4. P. 306—328.
- 37. Markose P. M., Bhat I. S., Pillai K. C. Some characteristics of ²²⁶Ra transfer from soil and uranium mill tailings to plants // Journal of Environmental Radioactivity. 1993. Vol. 21, iss. 2. P. 131–142.
- 38. **Pb-210**, Be-7 and Cs-137 in lichens, mosses and pine needles of the south of Western Siberia / M. S. Melgunov, K. A. Mezina, B. L. Sherbov, et al. // Book of abstracts 7th International Conference on Radiation in Various Fields of Research (RAD 2019). Herceg Novi, Montenegro. RAD Centre, 2019. P. 423.
- 39. 210 **Pb**, 137 Cs and 239 Pu profiles in ombrotrophic peat / F. Oldfield, P. G. Appleby, R. S. Cambray, et al. // Oikos. 1979. Vol. 33, iss. 1. P. 40–45.
- 40. **Persson. B. R. R., Holm E.** ⁷Be, ²¹⁰Pb, and ²¹⁰Po in the surface air from the Arctic to Antarctica // Journal of Environmental Radioactivity. 2014. No. 138. P. 364–374.
- 41. **Radioactive** elements in atmospheric precipitations of the Western Siberia / M. S. Melgunov, K. A. Mezina, B. L. Sherbov, et al. // E3S Web of conferences. 2019. 98.10003. Available at: https://doi.org/10.1051/e3sconf/20199810003.
- 42. **Radioisotope** contaminations from releases of the Tomsk-Seversk nuclear facility (Siberia, Rus-

- sia) / F. Gauhier-Lafaye, L. Pourcelot, J. Eikenberg, et al. // Journal of Environmental Radioactivity. 2008. Vol. 99(4). P. 680–693.
- 43. **Recent** atmospheric lead deposition recorded in an ombrotrophic peat bog of Great Hinggan Mountains, Northeast China, from ²¹⁰Pb and ¹³⁷Cs dating / K. Bao, W. Xia, X. Lu, G. Wang // Journal of Environmental Radioactivity. 2010. Vol. 101, iss. 9. P. 773–779.
- 44. Sanchez-Cabeza J. A., Ruiz-Fernández A. C. ²¹⁰Pb sediment radiochronology: an integrated formulation and classification of dating models // Geochim. et Cosmochim. Acta. 2012. Vol. 82. P. 183–200.
- 45. **The record** of atmospheric deposition on a Rainwater-Dependent Peatland / R. S. Clymo, F. Oldfield, P. G. Appleby, et al. // Philosophical Transactions of the Royal Society of London. 1990. Series B. Biological. Palaeolimnology and Lake Acidification Vol. 327, no. 1240. P. 331–338.

REFERENCES

- 1. Efremova T.T., Sukhorukov F.V., Efremov S.P., et al. [Accumulation of 137 Cs in peatbogs on the Ob and Tom' river interfluves]. *Pochvovedeniye Eurasian Soil Science*, 2002, no. 1, pp. 100–107. (In Russ.).
- 2. Melgunov M.S., Gavshin V.M., Sukhorukov F.V., et al. [Anomalies of radioactivity in the south coast of Lake Issyk-Kul (Kyrgyzstan)]. *Khimiya v interesakh ustoichivogo razvitiya*, 2003, vol. 11, no. 6, pp. 869–880. (In Russ.).
- 3. Ivanov K.E., Novikov S.M., eds. *Bolota Zapadnoy Sibiri, ikh stroeniye i gidrologicheskiy rezhim* [Bogs in Western Siberia. Their structure and hydrology]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1976. 500 p. (In Russ.).
- 4. Vserossiyskiy nauchno-issledovatelskiy institute gidrometeorologicheskoy informatsii –Mirovoy tsentr dannykh [All Russian Scientific-Research Institute of Hydrometeorological Information-World Data Centre]. Available at: http://aisori.meteo.ru/ClimateR (access date: 11.05.2020). (In Russ.).
- 5. Leonova G.A., Maltsev A.E., Badmaeva Zh.O., et al. [Geoecological assessment of the degree of anthropogenic pollution by heavy metals of the ecosystems of the upper mires of the forest-steppe zone of Western Siberia]. *Ekologiya promyshlennogo proizvodstva Industrial Ecology*, 2018, iss. 2 (102), pp. 64–73. (In Russ.).
- 6. Kabata-Pendias A., Pendias H. *Mikroelementy v pochvakh i rasteniyakh* [Trace elements in soils and plants]. Moscow, Mir Publ., 1989. 439 p. (In Russ.).
- 7. Shevchenko V.P., Aliev R.A., Kuznetsov O.L., et al. [Record of the heavy metals and radionuclides flow from the atmosphere in bog deposits of Karelia]. Vodnyye i nazemnyye ekosistemy: problemy i perspektivy issledovaniya: mater. Vseros. konf. [Aquatic and aerial ecosystems: problems and research prospects: material of All-Russian conference]. Vologda, 2008, pp. 168–171. (In Russ.).
- 8. Linnik V.G. *Landshaftnaya differentsiatsiya tekh-nogennykh radionuklidov* [Landscape differentiation of



technogenic radionuklides]. Moscow, RAS Publ., 2018. 372 p. (In Russ.).

- 9. Lisitsyn V.G. [Matter and energy fluxes in the outer and inner spheres of the Earth]. *Globalnyye izmeneniya prirodnoy sredy* [Global changes of Natural Environment]. Novosibirsk, SB RAS Publ, Geo branch, 2001, pp. 163–248. (In Russ.).
- 10. Mezina K.A., Melgunov M.S. [Peculiarities of ⁷Be and ²¹⁰Pb input in various landscape zones of the south of Western Siberia]. *Stroeniye litosfery i geodinamika: materialy 28 Vserossiyskoy molodezhnoy konf.* [Lithospheric structure and Geodynamics: materials of 28th All Russian Youth Conference]. Irkutsk, Institute of the Earth's Crust Publ., 2019, pp. 108–109. (In Russ.).
- 11. Noskova L.M., Shuktomova I.I. [Comparative evaluation of ²³⁸U and ²²⁶Ra absorption by herbaceous and woody vegetation under conditions of technogenic pollution]. *Radiatsionnaya biologiya*. *Radioekologiya Radiation Biology*. *Radioecology*, 2010, vol. 50, no. 6, pp. 642–648. (In Russ.).
- 12. Orlova L.A., Volkova V.S. *Golotsen Baraby* (stratigrafiya i radiouglerodnaya khronologiya) [The Baraba region in the Holocene: stratigraphy and radiocarbon chronology]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1990. 125 p. (In Russ.).
- 13. Preys Yu.I., Bobrov V.A., Budashkina V.V., et al. [Estimation of mineral matter fluxes by properties of peat deposits of the Bakchar bog (southern taiga of Western Siberia]. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2010, vol. 316, no. 1, pp. 47–43. (In Russ.).
- 14. Preys Yu.I., Bobrov V.A., Sorokovenko O.P. [Features of recent mineral substance accumulation in oligotrophic bogs of the south of the forest zone in Western Siberia]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya Tomsk State University Journal of Biology,* 2010, vol. 336, pp. 204–210. (In Russ.).
- 15. Bobrov V.A., Budashkina V.V., Melgunov M.S., et al. [Natural and technogenic radioisotopes and microelements in the section of peat accumulation of the Dulikha peat bog (Cisbaikalia): retrodictions of atmospheric inputs of mineral matter]. *Geologiya i mineralno-syryevye resursy Sibiri Geology and Mineral Resources of Siberia*, 2019, no. 2 (38), pp. 93–102 (In Russ.).
- 16. Rikhvanov L.P. Radioaktivnye elementy v okruzhayushchey srede i problemy radioekologii [Radioactive elements in environment and problems of radioecology]. Tomsk, STT Publ., 2009. 430 p. (In Russ.).
- 17. Sapozhnikov Yu.A., Aliev R.A., Kalmykov S.N. *Radioaktivnost okruzhayushchey sredy* [Radioactivity of environment]. Moscow, BINOM. Laboratoriya Znaniya Publ., 2006. 276 p. (In Russ.).
- 18. Gavshin V.M., Bobrov V.A., Sukhorukov F.V., et al. Fractionation of chemical elements in the atmosphere of Western Siberia: evidence from an ombrotrophic peat bog. *Doklady Earth's Sciences*, 2004, vol. 396, no. 5, pp. 668–671.
- 19. Stepanova V.A., Volkova I.I. [Genesis features of the Nikolaevka ryam in the forest-steppe of Western

- Siberia]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya Tomsk State University Journal of Biology, 2017, no. 40, pp. 202–223. (In Russ.).
- 20. Aleksakhin R.M., Arkhipov N.P., Barkhudarov R.M., et al. *Tyazhelye estestvennye radionuklidy v biosfere: migratsiya i biologicheskoe deistviye na populyatsii i biogeotsenozy* [Heavy natural radionuclides in the biosphere: migration and biological impact on populations and biogeocenoses]. Moscow, Nauka Publ., 1990. 368.p. (in Russ.).
- 21. Khotinsky N.A. [On the position of boundary between forest and steppe in Western Siberia during the Middle and Late Holocene]. *Pochvovedeniye Soviet Soil Science*, 1970, no. 6, pp. 40–47. (In Russ.).
- 22. Aba A., Al-Dousari A. M., Ismaeel A. Depositional characteristics of ⁷Be and ²¹⁰Pb in Kuwaiti dust. *Jornal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 2016, no. 307, pp. 15–23.
- 23. Appleby P.G. Chronostratigraphic techniques in recent sediments. *Tracking environmental change using lake sediments*. Springer, Dordrecht, 2002, pp. 171–203.
- 24. Appleby P.G., Oldfield F. The calculation of lead-210 dates assuming a constant rate of supply of unsupported 210 Pb to the sediment // Catena. 1978. Vol. 5, no. 1. P. 1–8.
- 25 Appleby P.G., Shotyk W., Fankhauser A. Lead-210 age dating of three peat cores in the Jura Mountains, Switzerland. *Water, Air, and Soil Pollution*, 1997, vol. 100, no. 3–4, pp. 223–231.
- 26. Alonso-Hernandez C.M., Morera-Gomez Ya., Cartas-Aguila H., Guillen-Arruebarrena H.A. Atmospheric deposition patterns of ²¹⁰Pb and ⁷Be in Cienfuegos, Cuba. *Journal of Environmental Radioactivity*, 2014, vol. 138, pp. 149–155.
- 27. Baskaran M., Shaw G.E. Residence time of arctic haze aerosols using the concentrations and activity ratios of ²¹⁰Po, ²¹⁰Pb and ⁷Be. *Journal of Aerosol Science*, 2001, vol. 32, pp. 443–452.
- 28. Holynska B., Ostachowicz B., Ostachowicz J., et al. Characterisation of ²¹⁰Pb dated peat core by various X-ray fluorescence techniques. *Science of the total Environment*, 1998, vol. 218, no. 2–3, pp. 239–248.
- 29. Clymo R.S. The limits to peat bog growth. *Philosophical Transhections of the Royal Society of London*, 1984, Series B, vol. 303, pp. 605–654.
- 30. Gavshin V.M., Melgunov M.S., Sukhorukov F.V., et al. Disequilibrium between uranium and its progeny in the Lake Issyk-Kul system (Kyrgyzstan) under a combined effect of natural and manmade processes. *Journal of Environmental Radioactivity*, 2005, no. 83, pp. 61–74.
- 31. El-Daoushy F., Tolonen K., Rosenberg R. Lead 210 and moss-increment dating of two Finnish Sphagnum hummocks. *Nature*, 1982, vol. 296 (5856), pp. 429–431.
- 32. Melgunov M.S., Pokhilenko N.P., Strakhovenko V.D., et al. Fallout traces of the Fukushima NPP accident in southern West Siberia (Novosibirsk, Russia).



Environmental Science and Pollution Research, 2012, vol. 19, iss. 4, pp. 1323–1325.

- 33. Govindaraju K. Compilation of working values and sample description for 383 geostandards. *Geostandards Newsletters*, 1994, vol. 18, Sp. iss., pp. 1–158.
- 34. Vile M.A., Novák M.J.V., Břízová E., et al. Historical rates of atmospheric Pb deposition using ²¹⁰Pb dated peat cores: Corroboration, computation, and interpretation. *Water, Air and Soil Pollution*, 1995, vol. 79, iss. 1–4, pp. 89–106.
- 35. Khazin L.B., Khazina I.V., Krivonogov S.K., et al. Holocene climate changes in southern West Siberia based on ostracod analysis. *Russian Geology and Geophysics*, 2016, vol. 57, no. 4, pp. 574–585.
- 36. Lal D., Malhotra P. K., Peters B. On the production of radioisotopes in the atmosphere by cosmic radiation and their application to meteorology. *Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics*, 1958, vol. 12, no. 4, pp. 306–328.
- 37. Markose P.M., Bhat I.S., Pillai K.C. Some characteristics of ²²⁶Ra transfer from soil and uranium mill tailings to plants. *Journal of Environmental Radioactivity*, 1993, vol. 21, iss. 2, pp. 131–142.
- 38. Melgunov M.S., Mezina K.A., Sherbov B.L., et al. Pb-210, Be-7 and Cs-137 in lichens, mosses and pine needles of the south of Western Siberia. *Book of abstracts seventh International conference on radiation in various Filds of Research (RAD 2019)*, Herceg Novi, Montenegro. RAD Centre, 2019, p. 423.

- 39. Appleby P.G., Oldfield F., Cambray R.S., et al. ²¹⁰Pb, ¹³⁷Cs and ²³⁹Pu profiles in ombrotrophic peat. *Oikos*, 1979, vol. 33, iss. 1, pp. 40–45.
- 40. Persson. B.R.R., Holm E. ⁷Be, ²¹⁰Pb, and ²¹⁰Po in the surface air from the Arctic to Antarctica. *Journal of Environmental Radioactivity*, 2014, no. 138, pp. 364–374.
- 41. Melgunov M.S., Mesina K.A., Sherbov B.L., et al. Radioactive elements in atmospheric precipitations of the Western Siberia. *E3S Web of Conferences*, 2019. 98.10003.
- 42. Gauhier-Lafaye F., Pourcelot L., Eikenberg J., et al. Radioisotope contaminations from releases of the Tomsk-Seversk nuclear facility (Siberia, Russia). *Journal of Environmental Radioactivity*, 2008, vol. 99(4), pp. 680–693.
- 43. Bao K., Xia W., Lu X., Wang G. Recent atmospheric lead deposition recorded in an ombrotrophic peat bog of Great Hinggan Mountains, Northeast China, from ²¹⁰Pb and ¹³⁷Cs dating. *Journal of Environmental Radioactivity*, 2010, vol. 101, iss. 9, pp. 773–779.
- 44. Sanchez-Cabeza J.A., Ruiz-Fernández A.C. ²¹⁰Pb sediment radiochronology: an integrated formulation and classification of dating models. *Geochim. et Cosmochim. Acta*, 2012, vol. 82, pp. 183–200.
- 45. Clymo R.S., Oldfield F., Appleby P.G., et al. The record of atmospheric deposition on a Rainwater-Dependent Peatland. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B. Biological. Palaeolimnology and Lake Acidification*, 1990, vol. 327, no. 1240, pp. 331–338.

© Г. А. Леонова, М. С. Мельгунов, К. А. Мезина, А. Е. Мальцев, Ю. И. Прейс, 2021



УДК 556.38(571.122)

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ РЕСУРСНОГО ПОТЕНЦИАЛА ПРЕСНЫХ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ХАНТЫ-МАНСИЙСКОГО АВТОНОМНОГО ОКРУГА

А. Р. Курчиков^{1,2}, М. В. Вашурина^{1,2}, В. И. Козырев^{1,2}

¹Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия; ²Западно-Сибирский филиал Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, Тюмень, Россия

Рассмотрены ресурсный потенциал и современное извлечение пресных подземных вод на нужды населения и отраслей экономики по Ханты-Мансийскому автономному округу (Югре). Охарактеризована история региональных гидрогеологических исследований по оценке естественных ресурсов и эксплуатационных запасов подземных вод Западно-Сибирского мегабассейна. Приведены результаты исследований и выполнен сопоставительный их анализ. Освещена проблема формирования и распределения естественных ресурсов по площади рассматриваемой территории, отмечена ее достаточная обеспеченность естественными ресурсами пресных подземных вод (прогнозные эксплуатационные ресурсы подземных вод на 1 человека составляют 66,86 м³/сут). Однако после выполнения региональных работ по оценке этих ресурсов прошло более 20 лет. За этот период водно-хозяйственная обстановка в регионе существенно изменилась, накоплен большой фактический материал, который позволяет уточнить и, возможно, пересмотреть ранее полученные результаты.

Ключевые слова: ресурсы, пресные подземные воды, региональные исследования, обеспеченность.

CURRENT STATE OF THE RESOURCE POTENTIAL OF FRESH GROUNDWATER OF THE KHANTY-MANSI AUTONOMOUS OKRUG

A. R. Kurchikov^{1,2}, M. V. Vashurina^{1,2}, V. I. Kozyrev^{1,2}

¹Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia; ²West-Siberian branch of Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, Tyumen, Russia

This article examines the resource potential and modern extraction of fresh groundwater for the needs of population and economic sectors in the Khanty-Mansi Autonomous Okrug – Yugra. The history of regional hydrogeological studies on the assessment of natural resources and exploitation reserves of groundwater reserves of the West Siberian mega-basin (WSMB) is revealed. The research results are shown and their comparative analysis is carried out. The article highlights the issue of formation and distribution of natural resources over the area of the considered territory. In conclusion, it is noted that the territory of the Khanty-Mansi Autonomous Okrug – Yugra is sufficiently supplied with natural resources of fresh groundwater (the predicted useful groundwater resources supply is 66.86 m³/day per person). However, more than 20 years have passed since the implementation of regional works on the assessment of predicted groundwater resources in the territory of the Khanty-Mansi Autonomous Okrug. During this period, the water-economic situation in the region has changed significantly, a large amount of factual material, which makes it possible to clarify and probably to revise the previously obtained results has been accumulated.

Keywords: resources, fresh groundwater, regional studies, supply.

DOI 10.20403/2078-0575-2021-1-110-116

Ханты-Мансийский автономный округ — Югра (ХМАО) имеет статус крупнейшего нефтедобывающего региона России. Половина текущих извлекаемых запасов нефти России локализована в его границах; разведаны и продолжительное время (более 40 лет) эксплуатируются такие крупные нефтяные месторождения, как Самотлорское, Приобское, Федоровское, Красноленинское, Аганское, Ватинское, Восточно- и Западно-Сургутское, Усть-Балыкское, Мамонтовское. При этом пятая часть (21 %) всех начальных извлекаемых запасов нефти разведана на уникальном Самотлорском месторождении, которое входит в первую десятку крупнейших в мире. В настоящее время в границах округа разрабатывается более четырехсот месторождений нефти и газа [6].

Пресные подземные воды (ППВ) в XMAO широко используются в целях питьевого водоснабжения населения и технологического обеспечения объек-

тов, в том числе для систем поддержания пластового давления (ППД) нефтяных месторождений. Перспектива использования ППВ определяется главным образом их ресурсным потенциалом, а также соответствием их качества требованиям целевого назначения.

Систематическое изучение геолого-гидрогеологических условий района исследований началось в 1960—1980-е гг. и было связано с поисками нефти, газа и необходимостью хозяйственного освоения территории.

Масштабные региональные исследования по оценке естественных ресурсов и эксплуатационных запасов подземных вод Западно-Сибирского мегабассейна (ЗСМБ) проведены Западно-Сибирским научно-исследовательским геолого-разведочным нефтяным институтом (ЗапСибНИГНИ) в 1966—1968 гг. и Тюменской комплексной геоло-



го-разведочной экспедицией (ТКГРЭ) совместно с Тюменским индустриальным институтом в 1983 г. Руководил работами Ю. К. Смоленцев. Исследованиями была охвачена большая площадь Тюменской (в том числе Ханты-Мансийского и Ямало-Ненецкого автономных округов), Томской, Омской и Новосибирской областей.

В результате исследований выполнены систематизация и обобщение фактического материала по гидрогеологическим условиям территории, составлены площадные геологические, геоморфологические, гидрогеологические, гидродинамические карты основных водоносных горизонтов. Инновационной при этом стала схематизация гидрогеологической стратификации и общего районирования, отражающая основные закономерности формирования пресных подземных вод. В ее основу положены бассейны стока — природные гидрогеологические районы с единым циклом формирования подземных вод.

Оценкой прогнозных эксплуатационных ресурсов подземных вод (ПЭРПВ) в конце 1970-х — начале 1980-х гг. занимались Ю. К. Смоленцев и др. Оценка проведена аналитическим методом для существующих и потенциальных потребителей на площади 330 тыс. км². Это было сделано впервые для рассматриваемой территории по результатам обширных полевых исследований и сбора существующей информации. ПЭРПВ оценивались по величине питания напорных вод в естественных условиях, которая определялась по норме минимального среднемесячного зимнего речного стока. Подсчитанные общие эксплуатационные ресурсы подземных вод (плиоцен-четвертичного и олигоценового комплексов) составили 62,2 млн м³/сут.

Проводимыми на протяжении XX в. исследованиями доказано, что в XMAO сосредоточены крупнейшие ресурсы ППВ. При обобщении накопленной информации выполнен полный анализ условий их залегания, распространения и формирования [2, 11, 12].

В 1993 г. ХМАО получил статус субъекта Российской Федерации. В соответствии с территориальным разделением произошло и разделение хозяйственной деятельности, в том числе и гидрогеологических исследований по площадям субъектов РФ.

В 1998–2001 гг. С. С. Палкиным и др. (ЗАО «ГИ-ДЭК») проведена оценка обеспеченности населения ХМАО ресурсами подземных вод для питьевого водоснабжения. В результате обобщения обширного количества данных, изучения гидрогеологических условий территории, опыта разведки и эксплуатации пресных подземных вод составлены геологические карты доплиоценовых и плиоценовых отложений с серией разрезов; карты эффективных мощностей отложений атлымской и новомихайловской свит; карты общей и эффективной мощностей плиоцен-четвертичных отложений; карта обеспеченности населения округа ресурсами подземных вод, пригодными для питьевого использования.

Оценка выполнена методом численного моделирования на основе обобщения данных изучения гидрогеологических условий территории, опыта разведки и эксплуатации пресных подземных вод на площади 534,8 тыс. км². Для этой цели геологический разрез территории округа схематизировался пятью расчетными слоями. При подсчете ПЭРПВ многолетняя сработка емкостных запасов не учитывалась, в качестве источников формирования эксплуатационных ресурсов принимались только питание водоносного комплекса и привлекаемые ресурсы. Общая оценка ПЭРПВ составила 107,79 млн м³/сут.

В 2012—2013 гг. под руководством В. И. Козырева проведены гидрогеологическая стратификация разреза олигоцен-четвертичного комплекса и районирование первого водоносного горизонта на объектах нефтедобычи лицензионных участков ОАО «Сургутнефтегаз», расположенных в Сургутском, Нефтеюганском и Нижневартовском районах ХМАО. По условиям залегания и формирования, химическому составу и геодинамике авторы выделили первый водоносный горизонт от поверхности в отложениях неоген-четвертичного возраста. Водообильность горизонта изменчива, дебиты скважин составляют 0,4—19 л/с (34—1622 м³/сут), при понижениях уровня 1,0—36,0 м. Мощность горизонта колеблется от 20 до 85 м.

В рамках реализации целевой программы «Чистая вода» по поручению правительства округа в Западно-Сибирском филиале ИНГГ СО РАН в 2013-2014 годах М. В. Вашуриной, В. И. Козыревым и др. выполнены региональные гидрогеологические исследования с целью оценки современного состояния и перспективного использования подземных вод питьевого водоснабжения ХМАО-Югры [8]. Работы проводились в границах 65 муниципальных образований округа на территории более 110 населенных пунктов. Уточнены геолого-гидрогеологические условия, изучен химический состав подземных вод, оценено качество добываемых и используемых в питьевых целях вод, изучены существующие системы водоподготовки, обоснованы современные технологии применения эффективной очистки пресных подземных вод перед их использованием. Оценено состояние ресурсного потенциала пресных подземных вод на объектах исследования и соответствие эксплуатации водозаборов подземных вод существующему законодательству РФ. Разработаны рекомендации по совершенствованию существующей системы питьевого водоснабжения и организации недропользования для обеспечения исследуемых объектов кондиционными подземными водами питьевого назначения. Полученная в процессе исследований информация систематизирована и представлена в табличных формах (в реестрах водозаборных скважин по объектам исследования, каталогах результатов гидрохимического опробования ППВ до и после очистки), а также отражена



на картах фактического материала (Белоярского, Кондинского, Нефтеюганского, Нижневартовского, Октябрьского, Сургутского, Ханты-Мансийского районов), карте современного состояния и использования ППВ на территории ХМАО-Югры и тематических гидрогеохимических картах (карты кондиционности пресных подземных вод по обобщенным, органолептическим и санитарно-токсическим показателям, карта степени эффективности очистки пресных подземных вод до норм питьевого стандарта). По результатам гидрогеологических исследований за 2013—2014 гг. и с учетом ретроспективных данных прежних лет оценено современное состояние пресных подземных вод, в том числе их ресурсного потенциала.

ХМАО находится в центральной части Западно-Сибирской равнины, в гидрогеологическом отношении относится к Западно-Сибирскому мегабассейну подземных вод и характеризуется значительными ресурсами ППВ.

Формирование и распределение естественных ресурсов определяется комплексным воздействием физико-географических и геолого-гидрогеологических факторов. С одной стороны, территория исследований расположена в гумидной зоне, в полосе избыточного и весьма избыточного увлажнения, оптимальной и недостаточной теплообеспеченности, южнее границы многолетней мерзлоты и характеризуется благоприятными условиями для накопления значительных ресурсов ППВ за счет инфильтрации талых снеговых вод в весеннее время и атмосферных осадков, выпавших в летне-осенний период, что обеспечивает обильное питание подземных вод верхней водообменной системы. С другой стороны, слаборасчлененный рельеф, незначительное превышение областей питания над областями разгрузки, слоистый разрез с преобладанием глинистых отложений и практически горизонтальное залегание водоносных горизонтов обусловливают резко замедленный характер подземного стока. Значительная заболоченность территории снижает инфильтрацию атмосферных осадков [1, 2, 5, 10–12].

Хозяйственная ценность водно-ресурсного потенциала региона тем выше, чем значительнее доля «устойчивой» подземной составляющей стока, величина которой количественно определяется модулем подземного стока. Подземный сток зоны свободного водообмена в районах с постоянно действующей гидрографической сетью формируется под дренирующим воздействием речных систем.

В целом по территории в границах Тюменской области модуль подземного стока изменяется от 0,04 до 5,15 л/с на 1 км 2 : ЯНАО от 0,2 до 4, юг Тюменской области от 0,05 до 5,15 (материалы А. В. Соколовой и др., 2001 г.), ХМАО от 0,04 до 5,15 (материалы Ю. К. Смоленцева и др., 1983 г.).

Суммарный модуль подземного стока в ХМАО, как уже отмечалось, колеблется в широких пределах (от 0.04 до 5.15 л/с на 1 км 2), но преобладают зна-

чения от 0,2 до 1 л/с на 1 км² (материалы Ю. К. Смоленцева и др.), а модуль неоген-четвертичных отложений — от 0,01 до 2 л/с на 1 км² и более. Максимальные значения характерны для участков со значительной расчлененностью рельефа или с высокой водопроводимостью отложений (Обь-Кондинское междуречье, Белогородский материк, бассейны рек Балык, Юган, Вах и др.).

Пониженные значения модуля (0,1-0,5 л/с на 1 км²) наблюдаются в центральной слабо расчлененной части Обь-Иртышского междуречья. Модуль подземного стока основного водоносного атлым-новомихайловского комплекса изменяется от 0,01 до 1,04 л/с на 1 км 2 . Наибольшие его значения (до 1 л/c на 1 км^2) отмечаются на крайнем юго-западе, в западной части Кондинского муниципального района. Это связано с неглубоким залеганием комплекса и высокой расчлененностью рельефа. В центральной части значения модуля изменяются незначительно – от 0,16 до 0,28 π /с на 1 κ м 2 , поскольку комплекс залегает на значительной глубине и перекрыт слабопроницаемой толщей верхнего олигоцена. Минимальные значения (до 0,1 л/с на 1 км²) отмечены на наиболее заболоченных междуречных пространствах (Кондинский, Советский, Березовский муниципальные районы и южная часть Ханты-Мансийского). Модуль подземного стока верхнеэоцен-нижнеолигоценовых отложений не превышает 0,05 л/с на 1 км²,что обусловлено значительной глубиной залегания кровли, частой литолого-фациальной изменчивостью и низкими фильтрационными свойствами отложений.

Первый гидрогеологический комплекс (эоценчетвертичных отложений) кайнозойского гидрогеологического бассейна характеризуется свободным водообменном (в нижних частях — затрудненным), и в его пределах большей частью развиты пресные воды.

Согласно гидрогеологическому районированию зоны свободного водообмена кайнозойский гидрогеологический бассейн территориально приурочен к системе обширного Обского регионального подземного стока, подчиняющегося Карскому бассейну континентального стока. Выделены две группы бассейнов стока подземных вод - северная и южная, различающиеся особенностями неотектоники, морфоструктуры, гидрогеологии и криогенеза. Граница между ними проведена по Обь-Енисейской положительной морфоструктуре, соответствующей Сибирско-Увальской гряде (Сибирским Увалам) и определяющей направление стока поверхностных и подземных вод верхней гидрогеологической структуры в северную и южную стороны мегабассейна [8-10]. Подземные воды изучаемой территории принадлежат к южной группе бассейнов (к системе Среднеобского бассейна регионального подземного стока).

По условиям формирования и динамике подземного стока в разрезе Среднеобского бассейна



В. Т. Цацульниковым [12] выделены две подзоны. Подзона местного стока охватывает преимущественно четвертичные отложения и характеризуется сроком возобновления ресурсов менее 0,1 млн лет. Часть разреза, сложенная олигоценовыми отложениями, отнесена к подзоне регионального стока, где срок возобновления ресурсов составляет 1,2—5,6 млн лет.

Общие естественные ресурсы основных водоносных горизонтов Среднеобского бассейна стока Ю. К. Смоленцевым и др. в 1983 г. оценены в 255 M^3/C , около 70 % из них формируется в четвертичных отложениях. Ресурсы олигоцен-четвертичного водоносного комплекса формируются из ресурсов безнапорных вод четвертичных и неогеновых образований и напорных вод олигоценовых отложений. Ресурсы безнапорных вод формируются преимущественно за счет осушения пласта и инфильтрации атмосферных осадков, при этом восполняемая часть составляет около половины объема эксплуатационных ресурсов. Ресурсы напорных вод образуются в основном за счет перетекания из вышележащих водоносных горизонтов и выработки естественных емкостных запасов горизонта, при этом на восполняемую часть ресурсов приходится примерно 20-25 %.

Прогнозные эксплуатационные ресурсы подземных вод и их распределение по площади

Возможный суммарный отбор подземных вод в пределах того или иного района (бассейна подземных вод, речного бассейна, административного района) при гидрогеологических, природоохранных и других ограничениях характеризуется как ресурсный потенциал подземных вод либо как прогнозные эксплуатационные ресурсы подземных вод. Эта величина отражает потенциальные возможности использования подземных вод и подсчитывается по значению площадного или линейного модуля ПЭРПВ. В пределах рассматриваемой территории эксплуатационные ресурсы подземных вод четвертичных отложений формируются в равной мере за счет привлечения естественных ресурсов и сработки гравитационных запасов, а олигоценовых - главным образом при сработке гравитационных запасов и в меньшей степени за счет естественных ресурсов и упругих запасов.

В целом ХМАО-Югра располагает значительным ресурсным потенциалом ППВ. Общая величина ПЭРПВ в соответствии с работой по оценке обеспеченности ими населения ХМАО, выполненной в 2001 г. под руководством С. С. Палкина, составляет 107,79 млн м³/сут. Для сравнения: в ЯНАО — 35,38 млн м³/сут, на юге Тюменской области — 6,01 млн м³/сут (материалы А. В. Соколовой и др. за 2001 г.) [12] (рис. 1).

Распределение прогнозных эксплуатационных ресурсов ПВ по территории XMAO неравномерно. Большая их часть сосредоточена в Нижневартов-



Рис. 1. Степень изученности (разведанности) ресурсов пресных подземных вод по территории Тюменской области

1 — прогнозные ресурсы ППВ, тыс. $м^3$ /сут; 2 — суммарные утвержденные запасы ППВ, тыс. $м^3$ /сут; 3 — утвержденные запасы ППВ по категориям A+B, тыс. $м^3$ /сут.

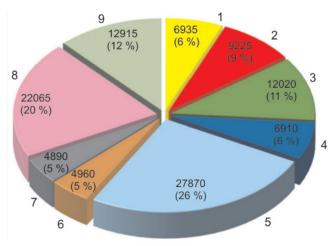


Рис. 2. Распределение прогнозных ресурсов подземных вод (тыс. м³/сут) по административным районам ХМАО-Югры

Административные районы: 1 — Белоярский, 2 — Березовский, 3 — Кондинский, 4 — Нефтеюганский, 5 — Нижневартовский, 6 — Октябрьский, 7 — Советский, 8 — Сургутский, 9 — Ханты-Мансийский

ском (25,86 %) и Сургутском (20,47 %) муниципальных районах, наименьшая – в Советском (рис. 2).

Среднее значение модуля ресурсного потенциала подземных вод составляет 2,35 л/с на 1 км 2 , изменяясь от 1,22 л/с в Березовском районе до 3,18 л/с в Нефтеюганском. Наиболее существенные различия отмечаются на территориях крайних западных и восточных районов округа.

Таким образом, вся характеризуемая площадь надежно обеспечена ресурсами ППВ, а следовательно, и все потребители (в том числе и крупные).

Степень изученности (разведанности) прогнозных ресурсов подземных вод на 11.11.2014 г. в среднем по округу составляет 1,55 %.



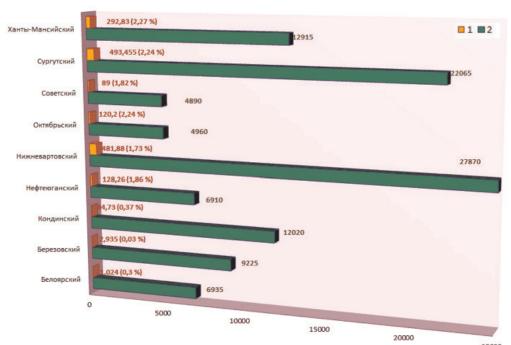


Рис. 3. Степень изученности (разведанности) прогнозных ресурсов подземных вод по состоянию на 11.11.2014 г. по административным районам ХМАО-Югры

1 — разведанные запасы, тыс. $m^3/\text{сут}$; 2 — прогнозные ресурсы, тыс. $m^3/\text{сут}$

Наиболее хорошо изучены Октябрьский (2,42 %), Ханты-Мансийский (2,27 %), Сургутский (2,24 %) и Советский (1,82 %) районы (рис. 3). В Сургутском района наибольшее значение степени изученности достигнуто за счет проведения обширных поисково-оценочных работ, а в Октябрьском и Советском эти показатели объясняются низким ресурсным потенциалом подземных вод.

Практически не исследован Березовский район (0,03 %), что объясняется как низким ресурсным потенциалом, так и малыми объемами поисково-оценочных работ в связи с отсутствием крупных водопотребителей. За последние 20 лет изученность на территории ХМАО прогнозных ресурсов подземных вод увеличилась на 65 %.

Современное извлечение пресных подземных вод и их использование в целях питьевого водоснабжения

В настоящее время сложилась ситуация, когда основная доля (67 % от общего объема) водопользования приходится на поверхностные источники. При этом на них приходится всего 25 % общего объема подъема воды, а на основной источник питьевой воды (ППВ) – 75 %.

Общий забор пресной воды из природных водных объектов на нужды населения и отраслей экономики по данным Нижнеобского бассейнового водного управления по ХМАО составил 1481,94 млн м³ за год, в том числе поверхностных вод 989,03 млн м³, подземных 492,91 млн м³ (включая попутные шахтно-рудничные 148,41 млн м³).

По состоянию на 01.01.2019 г. ХМАО-Югра располагает разведанными запасами ППВ 1224,78 тыс. м³/сут и занимает второе место после Свердловской области (1398,54 тыс. м³/сут) в Уральском федеральном округе (для сравнения: в ЯНАО

532,53 тыс. м³/сут, в Тюменской и Курганской областях 939,03 и 118,68 тыс. м³/сут соответственно) [4].

В соседнем Сибирском федеральном округе на то же время объем запасов варьирует от 210,91 в Республике Алтай до 1943,09 тыс. м³/сут в Алтайском крае. На пограничных с Тюменской областью территориях запасы составляют 341,91 тыс. м³/сут в Омской области, 820,58 в Томской, 754,56, в Новосибирской 1340,41 тыс. м³/сут в Красноярском крае [3].

Резюмируя изложенное, следует отметить, что обеспеченность ХМАО-Югры естественными ресурсами пресных подземных вод достаточная (66,86 м³/сут на человека, в то время как по УрФО 14,2 м³/сут), и округ характеризуется как надежно обеспеченный регион.

Однако со времени выполнения региональных работ по оценке прогнозных эксплуатационных ресурсов подземных вод по территории ХМАО прошло более 20 лет. Степень сопоставимости результатов оценок, выполненных Ю. К. Смоленцевым и С. С. Палкиным, высокая, несмотря на разные методические подходы.

Если пересчитать ПЭРПВ 107,79 млн. м³/сут (данные С. С. Палкина, 2001) пропорционально площади первой оценки 330 тыс. км² (данные Ю. К. Смоленцева, 1983), то получим 66,5 млн м³/сут. Сравнив это значение с данными Ю. К. Смоленцева (62,2 млн м³/сут), можно сделать вывод о хорошей сходимости и достоверности проведенной в 1983 г. оценки ПЭРПВ. Значение ПЭРПВ по оценке Ю. К. Смоленцева ниже, поскольку расчеты были выполнены для более «жестких условий», потому прогноз более осторожный.

С последней оценки ПЭРПВ водно-хозяйственная обстановка в регионе существенно изменилась. В результате работ по переоценке запасов пресных подземных вод, которая проведена на территории



11 населенных пунктов округа из 24 с населением, превышающим 10 тыс. человек, накоплен большой фактический материал, который позволил уточнить и, возможно, пересмотреть ранее полученные результаты. Для восьми населенных пунктов выполнен подсчет запасов. Оценка и переоценка проведены и на многочисленных ведомственных водозаборах. Осуществлена площадная оценка прогнозных ресурсов и эксплуатационных запасов пресных подземных вод для городов Пыть-Ях и Нефтеюганск.

Эти работы, как правило, имели местный характер (для района, населенного пункта, ведомственного водозабора), потому и назрела необходимость в уточнении ресурсной базы пресных подземных вод и их использования в целом по округу. Следует отметить, что подобная ситуация характерна для всей Западной Сибири, значит, аналогичные работы нужно выполнить по всей Тюменской области.

Кроме этого, результаты гидрогеологических исследований с целью оценки современного состояния и перспективного использования подземных вод питьевого водоснабжения ХМАО-Югры, выполненных в 2013—2014 гг. выявили проблемы в водоснабжении населения округа питьевой водой.

Для обеспечения населения качественной питьевой водой в условиях интенсивного нефтегазового освоения необходимо проведение комплекса мероприятий, представляющих собой систему правовых, организационных и технических мер, направленных на улучшение сложившейся в настоящее время ситуации путем предотвращения и устранения загрязнения подземных вод. Исполнение мероприятий должно контролироваться органами власти различного уровня.

Реализация таких мероприятий позволит прежде всего защитить водные ресурсы от загрязнения и будет способствовать повышению надежности системы водоснабжения. Как следствие, это позволит обеспечить население безопасной водой нормативного качества в соответствии с существующими нормами водопотребления, что является приоритетной социальной задачей, решение которой необходимо для сохранения здоровья, повышения уровня жизни и улучшения условий деятельности населения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. **Гидро-** и инженерно-геологические условия юго-запада Западно-Сибирской равнины / В. С. Кусковский, С. Н. Охалин, Ю. К. Смоленцев и др. Новосибирск: Наука, 1987. 129 с.
- 2. Земскова И. М. Ресурсы подземных вод центральной и южной частей Западно-Сибирского артезианского бассейна // Геология и полезные ископаемые юга Западной Сибири. Новосибирск: Наука, 1988. С. 105—108.
- 3. **Информационный** бюллетень о состоянии недр на территории Сибирского федерального округа за 2018 г. Вып. 15 / ФГБУ «Гидроспецгеология»,

- филиал «Сибирский региональный центр ГМСН». Томск. АО «Томскгеомониторинг», 2019. 324 с.
- 4. **Информационный** бюллетень о состоянии недр на территории Уральского федерального округа Российской Федерации в 2018 г. Вып. 19 / ФГБУ «Гидроспецгеология», филиал «Уральский региональный центр ГМСН». Екатеринбург: ООО «УЦАО», 2019. 220 с.
- 5. **Курчиков А. Р., Козырев В. И.** Изучение состояния фильтрационной среды эоцен-четвертичного гидрогеологического комплекса Западно-Сибирского мегабассейна // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2015. № 5. С. 33—37.
- 6. Курчиков А. Р., Вашурина М. В., Козырев В. И. Проблемы водоснабжения населения Ханты-Мансийского автономного округа питьевой водой в условиях интенсивного нефтегазового освоения // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2015. № 8. С. 7—13.
- 8. Курчиков А. Р., Вашурина М. В., Козырев В. И. Пути решения государственной программы «Чистая вода» (на примере Ханты-Мансийского автономного округа) // Подземные воды Востока России: матер. Всерос. совещ. по подземным водам востока России. Якутск, Ин-т мерзлотоведения СО РАН, 2015. С. 44—49.
- 8. **Матусевич В. М.** Гидрогеологические бассейны Западно-Сибирской равнины // Матер. Междунар. геол. конгр. 27-я сессия, т. IX, ч. 2. М.: Наука, 1984. С. 3–7.
- 9. **Матусевич В. М., Смоленцев Ю. К.** Гидрогеологические структуры Западно-Сибирской плиты // Пресные и маломинерализованные подземные воды Западной Сибири: межвузовский сб. науч. тр. Тюмень, 1989. С. 4—17.
- 10. Матусевич В. М., Рыльков А. В., Ушатинский И. Н. Геофлюидальные системы и проблемы нефтегазоносности Западно-Сибирского мегабассейна. Тюмень: ТюмГНГУ, 2005. 225 с.
- 11. Смоленцев Ю. К., Кусковский В. С. Особенности формирования подземных вод зоны гипергенеза Западно-Сибирской плиты // Подземные воды юга Западной Сибири (формирование и проблемы рационального использования). Новосибирск: Наука, 1987. С. 3—65. (Тр. ИГиГ СО АН СССР; вып. 683).
- 12. **Цацульников В. Т.** Районирование по условиям формирования эксплуатационных ресурсов пресных подземных вод (на примере Среднеобского бассейна стока) // Тез. докл. Всесоюз. совещ. по подземным водам Востока. Иркутск; Чита, 1985. С. 68—69.

REFERENCES

1. Kuskovskiy V.S. Okhalin S.N., Smolentsev Yu.K., et al. *Gidro- i inzhenerno-geologicheskiye usloviya yugo-zapada Zapadno-Sibirskoy ravniny* [Hydro- and engineering-geological conditions in the south-west



- of the West Siberian Plain]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1987. 129 p. (In Russ.).
- 2. Zemskova I.M. [Groundwater resources of the central and southern parts of the West Siberian artesian basin]. *Geologiya i poleznyye iskopaemyye yuga Zapadnoy Sibiri* [Geology and mineral resources of southern Western Siberia]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1988, pp. 105–108. (In Russ.).
- 3. Informatsionnyy byulleten o sostoyanii nedr na territorii Sibirskogo federalnogo okruga Rossiiskoy Federatsii, vyp. 15 [Information Bulletin on subsurface state in the territory of the Siberian Federal District of the Russian Federation in 2018, vol. 15]. Tomsk, 2019. 324 p. (In Russ.).
- 4. Informatsionnyy byulleten o sostoyanii nedr na territorii Uralskogo federalnogo okruga Rossiiskoy Federatsii, vyp. 19 [Information Bulletin on subsurface state in the territory of the Ural Federal District of the Russian Federation in 2018, vol. 19]. Yekaterinburg, 2019. 220 p. (In Russ.).
- 5. Kurchikov A.R., Kozyrev V.I. [Study of filtration environment state of the Eocene Quaternary hydrogeological complex of the West-Siberian mega-basin]. Zashchita okruzhayushchey sredy v neftegazovom komplekse Environmental protection in oil and gas complex. Moscow, 2015, no. 5, pp. 33–37. (In Russ.).
- 6. Kurchikov A.R., Vashurina M.V., Kozyrev V.I. [Problems of drinking water supply to the population of Khanty-Mansi Autonomous District under intensive oil and gas exploration]. Zashchita okruzhayushchei sredy v neftegazovom komplekse Environmental protection in oil and gas complex. Moscow, 2015, no. 8, pp. 7–13. (In Russ.).
- 7. Kurchikov A.R., Vashurina M.V., Kozyrev V.I. [Ways of solving the state program «Chistaya Voda» [Clean Water] (on the example of the Khanty-Mansi Autonomous Okrug)]. Materialy Vserossiiskogo soveshchaniya po podzemnym vodam vostoka Rossii (XXI Soveshchaniye po podzemnym vodam Sibiri i Dalnego

- Vostoka). Podzemnyye vody Vostoka Rossii [Materials of the All-Russian meeting on groundwater in the east of Russia (21st Meeting on the groundwater in Siberia and the Far East). Groundwater in the east of Russia]. Yakutsk, Permafrost Institute SB RAS Publ., 2015, pp. 44–49. (In Russ.).
- 8. Matusevich V.M. [Hydrogeological basins of the West Siberian Plain]. *Mater. Intern. geol. congr. 27th session, vol. IX, part 2.* Moscow, Nauka Publ., 1984, pp. 3–7. (In Russ.).
- 9. Matusevich V.M., Smolentsev Yu.K. [Hydro-geological structures of the West Siberian Plate]. *Presnyye i malomineralizovannyye podzemnyye vody Zapadnoy Sibiri* [Fresh and low-mineralized groundwater of Western Siberia]. Tyumen, 1989, pp. 4–17. (In Russ.).
- 10. Matusevich V.M., Rylkov A.V., Ushatinskiy I.N. *Geoflyuidalnyye sistemy i problemy neftegazonosnosti Zapadno-Sibirskogo megabasseyna* [Geo-fluid systems and the problems of oil and gas potential of the West Siberian megabasin]. Tyumen, TSOGU Publ., 2005. 225 p. (In Russ.).
- 11. Smolentsev Yu.K., Kuskovsky V.S. [Features of the formation of groundwater in hypergenesis zone of the West Siberian Plate]. Podzemnye vody yuga Zapadnoy Sibiri (formirovaniye i problemy ratsionalnogo ispolzovaniya). Trudy instituta geologii i geofiziki Sibirskogo otdeleniya AN SSSR [Groundwater of Western Siberia (formation and problems of rational use). Proceedings of Institute of Geology and Geophysics SB AS USSR]. Novosibirsk, Nauka Publ., iss. 683, 1987, pp. 3–65. (In Russ.).
- 12. Tsatsulnikov V.T. [Zoning under formation conditions of exploitable resources of fresh groundwater resources (Using the example of the Middle Ob drainage basin)]. *Tez. dokl. Vsesoyuznogo sovesgchaniya po podzemnym vodam Vostoka* [Theses of All-Russian Conference on groundwater of East]. Irkutsk, Chita, 1985, pp. 68–69. (In Russ.).
 - © А. Р. Курчиков, М. В. Вашурина, В. И. Козырев, 2021



наши авторы

- **ВАШУРИНА Маргарита Владимировна**, Тюменский индустриальный университет, зав. лабораторией; Западно-Сибирский филиал ИНГГ СО РАН, Тюмень, Россия, ст. науч. сотр.; к. г.-м. н. *E-mail: mvashurina@mail.ru*
- **ГОЛОВАНОВ Семен Евгеньевич**, Институт геологии и минералогии им. В. С. Соболева (ИГМ) СО РАН, лаборант; Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия, студент. *E-mail: svrgolovanov@gmail.com*
- **ЕГОРОВА Наталья Евгеньевна**, Институт недропользования Иркутского национального технического университета (ИН ИрНИТУ), Иркутск, Россия, ст. преподаватель. *E-mail: egorova_ne@ex.istu.edu*
- **ЕФИМОВ Аркадий Сергеевич**, Всероссийский научно-исследовательский геологический нефтяной институт (ВНИГНИ), советник генерального директора, Новосибирск, Россия. *E-mail: arkadyefimov@yandex.ru*
- **ЗУБКОВ Михаил Юрьевич**, Западно-Сибирский геологический центр, Тюмень, Россия, директор, ст. науч. сотр., к. г.-м. н. *E-mail: ZubkovMYu@mail.ru*
- **КОЗЫРЕВ Владимир Иванович**, Тюменский индустриальный университет, зав. лабораторией; Западно-Сибирский филиал ИНГГ СО РАН, Тюмень, Россия, науч. сотр. *E-mail: Kozyrev-v@mail.ru*
- **КУРЧИКОВ Аркадий Романович**, Тюменский индустриальный университет, зав. кафедрой, проф.; Западно-Сибирский филиал ИНГГ СО РАН, Тюмень, Россия, директор; д. г.-м. н., чл.-кор. РАН. *E-mail: ARKurchikov@ tmnsc.ru*
- **ЛЕОНОВА Галина Александровна**, Институт геологии и минералогии им. В. С. Соболева (ИГМ) СО РАН, Новосибирск, Россия, вед. науч. сотр., д. г.-м. н. *E-mail: leonova@igm.nsc.ru*
- **МАЛИКОВ Дмитрий Геннадьевич**, Институт геологии и минералогии им. В. С. Соболева (ИГМ) СО РАН, Новосибирск, Россия, ст. науч. сотр., к. г.-м. н. E-mail: dgmalikov@igm.nsc.ru
- **МАЛЬЦЕВ Антон Евгеньевич**, Институт геологии и минералогии им. В. С. Соболева (ИГМ) СО РАН, Новосибирск, Россия, мл. науч. сотр., к. г-м. н. *E-mail: maltsev@igm.nsc.ru*
- **МЕЗИНА Ксения Александровна**, Институт геологии и минералогии им. В. С. Соболева (ИГМ) СО РАН, Новосибирск, Россия, инженер-исследователь. *E-mail: mezinaka@iqm.nsc.ru*
- **МЕЛЬГУНОВ Михаил Сергеевич**, Институт геологии и минералогии им. В. С. Соболева (ИГМ) СО РАН, Новосибирск, Россия, ст. науч. сотр., к. г.-м. н. *E-mail: mike@igm.nsc.ru*
- **МИТРОФАНОВ Георгий Михайлович**, Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука (ИНГГ) СО РАН, вед. науч. сотр.; Новосибирский государственного университет (НГУ), доцент; Новосибирский государственный технический университет НТГУ), профессор, Новосибирск, Россия; д. ф.-м. н. *E-mail: georgymitrofanov@rambler.ru*
- **МОСЯГИН Евгений Вячеславович**, Сибирский НИИ геологии, геофизики и минерального сырья (СНИИГГиМС), нач. отдела, Новосибирск, Россия. *E-mail: mosyagin@sniiggims.ru*
- **ПАВЛОВА Капитолина Алексеевна**, Институт проблем нефти и газа (ИПНГ) ФИЦ ЯНЦ СО РАН, Якутск, Россия, мл. науч. сотр. *E-mail: pavlova_kapitolina@mail.ru*
- **ПОДОБИНА Вера Михайловна**, Национальный исследовательский Томский государственный университет (ТГУ), Томск, Россия, д. г.-м. н., проф. *E-mail: podobina@ggf.tsu.ru*
- **ПРЕЙС Юлия Ивановна**, Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск, Россия, д. б. н. *E-mail: preisyui@imces.ru*
- **СЕВОСТЬЯНОВА Розалия Федоровна**, Институт проблем нефти и газа (ИПНГ) ФИЦ ЯНЦ СО РАН, Якутск, Россия, мл. науч. сотр. *E-mail: rose_sevos@mail.ru*
- **СИТНИКОВ Вячеслав Стефанович**, Институт проблем нефти и газа (ИПНГ) ФИЦ ЯНЦ СО РАН, Якутск, Россия, зав. лабораторией, д. г.-м. н. *E-mail: sitgeo@mail.ru*
- **СМОЛИН Сергей Николаевич**, Институт нефтегазовой геологии и геофизики (ИНГГ) им. А. А. Трофимука СО РАН, Новосибирск, Россия, вед. Инженер. E-mail: smolwork56@gmail.com
- **ТАТЬЯНИН Геннадий Михайлович**, Национальный исследовательский Томский государственный университет (ТГУ), Томск, Россия, зав. кафедрой, к. г.-м. н. *E-mail: gmt@mail.tsu.ru*
- **ХОГОЕВ Евгений Андреевич**, Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука (ИНГГ) СО РАН, Новосибирск, Россия, ст. науч. сотр., к. ф.-м. н. *E-mail: hogoevea@ipgg.sbras.ru*
- **ХОГОЕВА Екатерина Евгеньевна**, Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука (ИНГГ) СО РАН, Новосибирск, Россия, науч. сотр. *E-mail: khoqoevaee@ipqq.sbras.ru*
- **ХОМИЧЕВ Валентин Леонидович**, Сибирский НИИ геологии, геофизики и минерального сырья (СНИИГГиМС), Новосибирск, Россия, гл. науч. сотр., д. г.-м. н. *E-mail: journal@sniiggims.ru*
- **ШЕМЯКИН Марк Леонидович**, Новосибирский государственный университет (НГУ), Новосибирск, Россия, ст. науч. сотр., к. г.-м. н. *E-mail: shemiakin@lab.nsu.ru*



OUR AUTHORS

- **EFIMOV Arkadiy**, PhD, All-Russian Research Geological Oil Institute (VNIGNI), Novosibirsk, Russia. *E-mail: arka-dyefimov@yandex.ru*
- **EGOROVA Natalya**, Institute of Surface Management of Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia. *E-mail: egorova_ne@ex.istu.edu*
- **GOLOVANOV Semen**, V.S.Sobolev Institute of Geology and Mineralogy (IGM) SB RAS; Novosibirsk State University (NSU), Novosibirsk, Russia. *E-mail: svrgolovanov@gmail.com*
- **KHOGOEV Evgeniy**, PhD, A.A.Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics (IPGG) SB RAS, Altai-Sayan Branch of Federal Research Center "United Geophysical Service" RAS, Novosibirsk, Russia; Novosibirsk, Russia. *E-mail:* hogoevea@ipgg.sbras.ru
- **KHOGOEVA Ekaterina**, A.A.Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics (IPGG) SB RAS, Novosibirsk State University (NSU), Novosibirsk, Russia. *E-mail: khogoevaee@ipgg.sbras.ru*
- **KHOMICHEV Valentin**, DSc, Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources (SNIIGGiMS), Novosibirsk, Russia. *E-mail: journal@sniiggims.ru*
- **KOZYREV Vladimir**, Industrial University of Tyumen, West-Siberian branch of A.A.Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics (IPGG) SB RAS, Tyumen, Russia. *E-mail: Kozyrev-v@mail.ru*
- **KURCHIKOV Arkadiy**, DSc, Industrial University of Tyumen, West-Siberian branch of A.A.Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics (IPGG) SB RAS, Tyumen, Russia; *E-mail: ARKurchikov@tmnsc.ru*
- **LEONOVA** Galina, DSc, V.S.Sobolev Institute of Geology and Mineralogy (IGM) SB RAS, Novosibirsk, Russia. E-mail: leonova@igm.nsc.ru
- **MALIKOV Dmitriy**, PhD, V.S.Sobolev Institute of Geology and Mineralogy (IGM) SB RAS, Novosibirsk, Russia. *E-mail: dgmalikov@igm.nsc.ru*
- **MALTSEV Anton**, PhD, V.S.Sobolev Institute of Geology and Mineralogy (IGM) SB RAS, Novosibirsk, Russia. *E-mail:* maltsev@igm.nsc.ru
- **MELGUNOV Mikhail**, PhD, V.S.Sobolev Institute of Geology and Mineralogy (IGM) SB RAS, Novosibirsk, Russia. *E-mail: mike@igm.nsc.ru*
- **MEZINA Ksenya**, V.S.Sobolev Institute of Geology and Mineralogy (IGM) SB RAS, Novosibirsk, Russia. *E-mail:* mezinaka@igm.nsc.ru
- **MITROFANOV Georgiy**, DSc, prof., A.A.Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics (IPGG) SB RAS, Novosibirsk State University (NSU), Novosibirsk State Technical University (NSTU), Novosibirsk, Russia. *E-mail:* qeorgymitrofanov@rambler.ru
- **MOSYAGIN Evgeniy**, Scientific Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources (SNIIGGiMS), Novosibirsk, Russia. *E-mail: mosyagin@sniiggims.ru*
- **PAVLOVA Kapitolina**, Institute of Oil and Gas Problems of Yakutsk Scientific Center, SB RAS, Yakutsk, Russia. *E-mail: pavlova kapitolina@mail*
- **PODOBINA Vera**, DSc, prof., National Research Tomsk State University (TSU), Tomsk, Russia. *E-mail: podobina@ ggf.tsu.ru*
- **PREYS Yuliya**, DSc, Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems SB RAS, Tomsk, Russia. E-mail: preisyui@imces.ru
- **SEVOSTYANOVA Rozaliya**, Institute of Oil and Gas Problems of Yakutsk Scientific Center, SB RAS, Yakutsk, Russia. *E-mail: rose_sevos@mail.ru*
- **SHEMYAKIN Mark,** PhD, Novosibirsk State University (NSU), Novosibirsk, Russia. *E-mail: shemiakin@lab.nsu.ru* **SITNIKOV Vyacheslav**, DSc, Institute of Oil and Gas Problems of Yakutsk Scientific Center, SB RAS, Yakutsk, Russia. *E-mail: sitgeo@mail.ru*
- **SMOLIN Sergey**, A.A.Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics (IPGG) SB RAS, Novosibirsk, Russia. *E-mail: smolwork56@gmail.com*
- **TATYANIN Gennadiy**, PhD, National Research Tomsk State University (TSU), Tomsk, Russia. *E-mail: gmt@mail.tsu.ru* **VASHURINA Margarita**, PhD, Industrial University of Tyumen, West-Siberian branch of A.A.Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics (IPGG) SB RAS, Tyumen, Russia. *E-mail: mvashurina@mail.ru*
- **ZUBKOV Mikhail**, PhD, West-Siberian Geological Center, Tyumen, Russia. *E-mail: ZubkovMYu@mail.ru*