

АНАЛИЗ ГЕОХИМИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ НА ЗАПАДЕ СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЗОН НЕФТЕГАЗОНАКОПЛЕНИЯ

Проведены региональные и прогнозно-рекогносцировочные геохимические исследования и на западе Сибирской платформы. По результатам исследований выполнена комплексная интерпретация геохимических показателей с районированием и оценкой геохимических полей. Установлены 30 крупных комплексных геохимических аномалий и 6 основных групп аномалий, в которых можно прогнозировать зоны нефтегазонакопления.

Ключевые слова: геохимические методы поисков месторождений нефти и газа, приповерхностная гидросфера, литосфера, фитосфера, геохимические аномалии, Сибирская платформа.

DOI: [10.17072/chirvinsky.2025.87](https://doi.org/10.17072/chirvinsky.2025.87)

Введение. Геохимические поиски нефти и газа (ГПНГ) проводятся на западе Сибирской платформы с семидесятых годов XX в. В Красноярском крае, эти методы в комплексе со структурно-поисковыми работами внесли важнейший вклад в открытие основных месторождений нефти и газа [2, 4, 10]. Ранее, были рассмотрены результаты ГПНГ в западной части Сибирской платформы в пределах Байкитской антеклизы по отдельным методам и показателям: гидрохимическим [12, 13, 14], гидрогазогеохимическим и газогеохимическим [8, 11], гидробиохимическим [6], литогеохимическим и фитогеохимическим [9, 10], битуминологическим [7, 16].

Цель настоящей работы – анализ комплекса наиболее перспективных показателей на нефть и газ, и районирование геохимических полей с возможностью прогнозирования зон нефтегазонакопления.

Комплексная интерпретация геохимических показателей. При геохимических поисках нефти и газа объектом непосредственных поисков становится не залежь, а ее отражение в виде полей аномальных концентраций [1], поэтому основная задача исследований - выявление этих аномальных полей (картирование), а затем их генетическая диагностика.

В основу интерпретации данных ГПНГ положен принцип аномалийности, согласно которому при оценке содержаний компонентов в пробах учитываются не столько абсолютные величины, сколько превышения над фоном, существующим в исследуемом районе [4]. Обработка данных ГПНГ проводилась по схеме, разработанной ВНИИЯГГ с усовершенствованием. Функциональная схема обработки данных приведена на рис. 1.

На начальном этапе обработки данных решалась задача контроля качества измерения геохимической и гидрогеологической информации, которая проводилась по стандартной методике основанной на выяснении относительной погрешности анализов. Систематизация исходных данных по геохимическим и гидрогеологическим объектам состояла из составления каталогов различных анализов по родникам,



Рис. 1. Функциональная схема обработки данных прогнозно-рекогносцировочных геохимических исследований

водотокам, скважинам, шурфам (база данных Северной ГПП ГГП «Енисейнефтегазгеология» и др.); вычисления геохимических коэффициентов; установления типа вод и принадлежности водопунктов к различным водоносным комплексам (применялся кластерный анализ и гидрохимический способ).

На следующем этапе производилось выделение факторов контролирующих концентрации ингредиентов с помощью однофакторного дисперсионного анализа. С учетом факторов было произведено выделение объектов, максимально приближенных к условиям однородной среды. Задача исключения влияния неоднородностей среды решалась путем нормирования значений показателей (деления их значений на среднее значение по каждой совокупности). Задача картирования гидро-газобиохимических и геохимических показателей заключалась в установлении их значений на тopoоснове и построение карт распределения показателей в изолиниях.

Задача выделения аномальных полей концентраций (ПКА) подразумевала изучение структуры геохимического поля концентраций (ПК) с целью нахождения границы между нормальными и аномальными значениями поля. В качестве исходного материала для решения этой задачи использовались карты распределения геохимических показателей в изолиниях, и применялся аппарат математической статистики. Разделение исходных данных геохимического поля на нормальное и аномальное поле производилось по формуле:

$$\Phi = x \pm s;$$

где Φ – фон (нормальное поле), x – среднее арифметическое, s – стандартное отклонение.

При $\Phi > (x+s)$ поле считалось аномальным. Достоверность оконтуренных (сгруппированных) ПКА (аномалий) оценивалась путем сравнения параметров распределения полеобразующего ингредиента в рамках аномального и нормального поля и проверялась на уровне значимости 95 % по t – критерию Стьюдента.

Количественная оценка степени надежности выявленных аномалий проводилась с помощью коэффициента гетерогенности ПК:

$$\varphi = t_{\text{выч}} / t_{\text{критич}} \quad (g=0,005f),$$

где g – уровень значимости, f – число степени свободы.

В случае значимой аномалии $\varphi > 1$, причем степень ее надежности будет тем больше, чем значительнее отличие от единицы [18].

Интерпретация и анализ генетических особенностей геохимических полей и генетической природы аномалий является наиболее сложным актом. В основу их была положена комплексная обработка

геохимических и гидрогеологических данных (системный анализ), включающая установление пространственных визуальных и статистических связей выделенных ПКА между собой (факторный анализ) и ее структурно-тектоническими условиями площади, интенсивностью неотектонических движений, разрывной тектоникой, структурой региональных ПК индикаторов глубинности – гелия, хлора и особенностями геологического строения площади.

Методика и районирование геохимических аномальных зон способом равнозначных градаций. Для комплексной интерпретации геохимических показателей и оценки перспектив нефтегазоносности территории была разработана методика выделения перспективных геохимических аномальных зон (участков) способом равнозначных градаций. Подобная схема с использованием «квартилей» была разработана ранее во ВНИИЯГГе [5]. В наших работах эта схема модернизирована для реального прогноза нефтегазоносности локальных объектов.

Построение схемы перспектив нефтегазоносности способом равнозначных градаций и ее анализ включали следующие операции:

1) определение оптимального набора информативных (прямых) показателей;

2) разделение показателей на одинаковые градации (баллы) по каждому виду, независимо от их размерности, исходя из закона нормального распределения. Конкретное значение отдельной градации устанавливается для каждого показателя статистическим путем, для этого определяется среднее значение показателя (среднеарифметическое – x , медиана – Me и moda – Mo) и стандартное отклонение (s).

Устанавливается 6 градаций: 1 балл – менее ($x-s$) или $< Mo$; 2 балл – от ($x-s$) до x ; 3 балл – от x до ($x+s$); 4 балл – от ($x+s$) до ($x+2s$); 5 балл – от ($x+2s$) до ($x+3s$); 6 балл – более ($x+3s$);

3) нанесение на всю площадь прямоугольной сетки 4 x 4 км (2 х 2 см в масштабе 1:200 000) с нанесением значений геохимических показателей;

4) оценка квадратов площадью 16 км² по каждому показателю (с учетом объективных дискретных и средних значений геохимических показателей в квадрате) с отнесением значений к центру квадратов;

5) расчет суммарного балла по группе показателей;

6) расчет статистических параметров суммарного балла;

7) выбор градаций и проведение изолиний по расчетному суммарному баллу способом интерполяции рациональными дробями;

8) анализ схемы равнозначных градаций и расчетная оценка перспектив локальных объектов.

В результате проведения комплексных гидрогазобиохимических и геохимических исследований на территории Байкитской антеклизы, удалось получить набор геохимических показателей (которые по информативности можно интерпретировать, как прямые показатели нефтегазоносности) с достаточно равномерной сетью опробования по отдельным площадям (Иркинеевская, Светланинская, Кузьмовская, Камовская, Юрубченская) [10, 15]. К ним можно отнести 4 главных показателя: метан (CH_4), сумму тяжелых углеводородов ($\Sigma\text{ТУ}$) и суммарную биогенность в приповерхностной гидросфере, а также – хлороформенные битумоиды в породах (ХБА). В таблице приведена характеристика основных геохимических показателей с разделением на нормальное и аномальное геохимическое поле в зоне гипергенеза Байкитской антеклизы.

С целью выяснения влияния природных факторов на формирование геохимических аномалий проведен факторный анализ по гидрогазобиохимическим показателям в различных гидрогеологических районах Байкитской антеклизы. В качестве переменных были взяты 17 физических, химических, микробиологических и газовых переменных в природных водах (подземных и поверхностных).. В результате статистической обработки в группах подземных и поверхностных вод выделено по 5 главных фактора (фильтрационный, геоморфологический, климатический, инфильтрационный-гипергенный и нефтегазопоисковый), которые охватывают около 70 % общей дисперсии. Основной фактор – «нефтегазопоисковый», характеризует обогащение вод органического вещества (ОВ) глубинного генезиса. В подземных водах он вносит 8% в суммарную дисперсию, в поверхностных водах – 7%. В поверхностных водах высокие нагрузки попадают на минерализацию, этан, БО бензол. Анализируя вклад этого фактора по рассмотренной территории, можно отметить, что точки с высокой нагрузкой сконцентрированы в пределах большинства геохимических аномалий, пространственно совпадающих с локальными положительными структурами. Этот факт подтверждает их эпигенетическую природу и определяет их перспективность.

Нефтегазогеологическое районирование геохимических полей

По нефтегазогеологическому районированию рассматриваемая территория находится в пределах Лено-Тунгусской нефтегазоносной провинции и охватывает Байкитскую нефтегазоносную область которая подразделяется на два нефтегазоносных района: Камовский и Тычанский [3]. Основные перспективы нефтегазоносности связаны с рифейскими, вендскими и нижнекембрийскими отложениями, продуктивность которых доказана Куюбинским и Оморинским газоконденсатными и Юрубченским газоконденсатно-нефтяным месторождениями. В

Таблица

*Характеристика основных геохимических показателей
зоны гипергенеза Байкитской антеклизы*

Показатели	Единицы измерения	Пределы концентраций		Средние концентрации	
		min	max	нормальное поле	аномальное поле
Гидрохимические	Тип вод по В.А. Сулину		Cl-Ca	HCO ₃ -Na	SO ₄ -Na, HCO ₃ -Na, Cl-Mg
	Сумма солей	г/дм ³	0,01	12,1	0,3
	HCO ₃ ⁻	мг/дм ³	6,1	506,5	207,5
	SO ₄ ²⁻	мг/дм ³	0,0	1075,9	14,4
	Cl ⁻	мг/дм ³	0,0	6730,8	7,1
	NH ₄ ⁺	мг/дм ³	0,0	4,0	0,2
	CO ₂ ^{газ}	мг/дм ³	0,0	220,0	10,5
	Br ⁻	мг/дм ³	0,0	65,5	2,0
	I ⁻	мг/дм ³	0,0	7,0	0,4
	r Na/Cl		0,1	43,8	2,4
Гидрогазогеохимические	Газонасыщенность	см ³ / дм ³	16	70	30
	O ₂	%-об	0,0	38,2	19,1
	N ₂	%-об	54,6	96,1	76,7
	CO ₂	%-об	0,0	23,0	2,6
	He	%-об, п · 10 ⁻⁴	0,0	3400,0	7,8
	CH ₄	%-об, п · 10 ⁻⁴	0,2	3540,0	7,9
	C ₂ H ₆ + высш. (Σ ТУ)	%-об, п · 10 ⁻⁴	0,0	267,6	0,9
	CH ₄		0,0	1969,2	23,5
	C ₂ H ₆ + высш.		0,0		30,7
	Σ i		0,0	1,5	0,1
Биогеохимические	Σ n		0,0		0,1
	C ₂ H ₆ + высш.		0,0	394,3	1,2
	C ₂ H ₄ + высш.		0,0		6,4
	«Голодный Мюнц»	услов. ед.	0	300	71
	БО пропан+бутан	услов. ед.	0	400	73
	БО пентан	услов. ед.	0	500	75
Битуминологические	БО бензол	услов. ед.	0	500	82
	БО толуол	услов. ед.	0	300	90
	Суммарная биогенность	услов. ед.	0	1270	330
	XBA	% на породу	0,000	0,320	0,001
	β = XBA/OB · 100	%	6,4	100	20,7
	XBA/CBA		0,5	5,4	0,9
					2,9

задачу региональных и прогнозно-рекогносцировочных геохимических и гидрогеологических исследований входит выделение региональных и локальных элементов нефтегеологического районирования (зон и объектов) [4].

В результате обработки данных прогнозно-рекогносцировочных и региональных ГПНГ с достаточно высокой степенью надежности закартированы аномалии по прямым геохимическим показателям: 40 – по метану, 48 – по сумме ТУ, 42 – по суммарной биогенности и 62

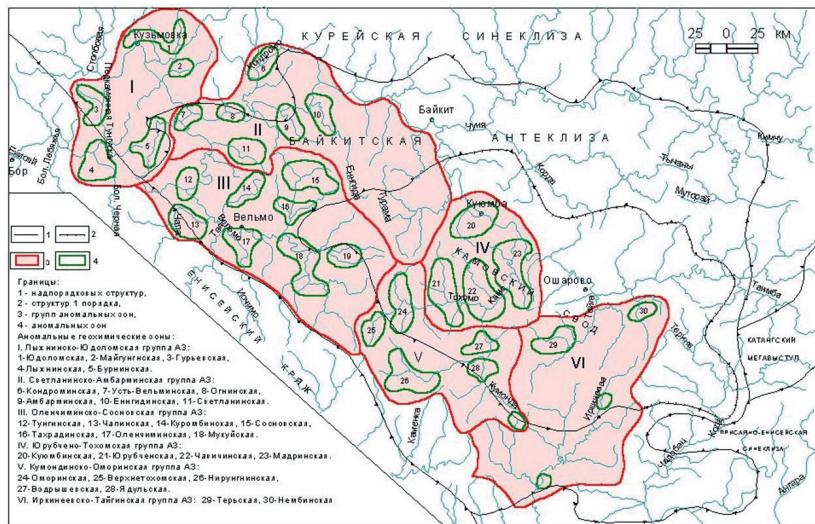


Рис. 2. Схема районирования геохимических полей Байкитской антеклизы

– по битумоидам (ХБА). В пространственном отношении значительная часть их группируется в 30 больших (с площадями более 100 км²) аномальных зон (А3). Общая площадь всех АЗ на Байкитской антеклизе и прилегающей к ней территории в северо-западной части составляет около 10 тыс. км². Анализ пространственного размещения АЗ, их структурно-тектонической приуроченности, специфических геохимических особенностей, а также нефтегазопоискового значения позволил провести их районирование. На схеме районирования геохимических полей (рис. 2) выделены 6 основных групп АЗ: Лыжнинско-Юдоломская, Светланинско-Амбарминская, Оленчинско-Сосновская, Юрубченово-Тохомская, Кумондинско-Оморинская и Иркинеевско-Тайгинская. По площади они имеют большое сходство с прогнозируемыми зонами нефтегазонакопления [17, 19] и структурно-тектоническими зонами поднятий, выделенных по структурно-геологическим работам (В.И.Бурмин, М.В.Чусов и др.).

Таким образом, в западной части Сибирской платформы закартировано 30 комплексных геохимических аномальных зон, обобщенные в 6 основных групп. В пределах групп можно с большой долей вероятности прогнозировать зоны нефтегазонакопления. В пределах комплексных геохимических аномальных зон (которые контролируются положительными тектоническими структурами) можно прогнозировать месторождения нефти и газа.

В специальном приложении (база данных ГГП «Енисейнефтегаз-геология») приведена подробная характеристика аномальных зон, показано их нефтегазопоисковое значение, даны рекомендации на проведение дальнейших работ. На отдельные объекты составлены паспорта перспективных геохимических аномалий.

Библиографический список

1. Ванюшин В.А., Петухов А.В., Сиротюк В.А. Вопросы оптимальной стратегии проведения геохимических поисков залежей нефти и газа // Методы оценки нефтегазоносности локальных ловушек. М.: Наука, 1981. С. 110-114.
2. Варламов А.И., Ефимов А.С., Кринин В.А. Ресурсный потенциал и перспективы развития сырьевой базы Восточно-Сибирской нефтегазоносной мегапровинции // В сборнике: Геология и геофизика - 2022: наука, производство, инновации. Мат-лы II Межд. науч.-практ. конф. Тверь, 2022. С. 150-153.
3. Геология нефти и газа Сибирской платформы / А.С. Анциферов, В.Е Бакин, И.П. Варламов и др. М.: Недра, 1981. 552 с.
4. Геохимические методы поисков нефтяных и газовых месторождений / О.В.Барташевич, Л.М.Зорькин, С.Л.Зубайраев и др. М.: Недра. 1984. 300 с.
5. Инструктивные указания по проведению газобиохимических поисковых работ на нефть и газ / Г.А.Могилевский, В.М.Богданова, З.П.Телегина и др. М.: ОНТИ ВНИИГГ, 1974.
6. Копылов И.С. Биогеохимические показатели, аномалии и их нефтегеологическое значение (Тунгусский бассейн) // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении. Научные чтения памяти П.Н. Чирвинского. 2021. № 24. С. 106-112.
7. Копылов И.С. Битуминологические показатели перспектив нефтегазоносности на западе Сибирской платформы // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении. Научные чтения памяти П.Н. Чирвинского. 2022. № 25. С. 133-140.
8. Копылов И.С. Газогеохимические показатели нефтегазоносности в надсолевом комплексе на западе Сибирской платформы // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении. Научные чтения памяти П.Н. Чирвинского. 2023. № 26. С. 129-133.
9. Копылов И.С. Геохимические исследования приповерхностной литосферы и фитосферы на западе Сибирской платформы // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении. Научные чтения памяти П.Н. Чирвинского. 2024. № 27. С. 73-80.
10. Копылов И.С. Геоэкология нефтегазоносных районов юго-запада Сибирской платформы. Пермь: Перм. гос. нац. иссл. ун-т. 2013. 166 с.
11. Копылов И.С. Гидрогазогеохимические показатели нефтегазоносности Тунгусского бассейна // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении. Научные чтения памяти П.Н. Чирвинского. 2023. № 26. С. 122-128.
12. Копылов И.С. Гидрогеологические и геохимические критерии оценки перспектив нефтегазоносности Байкитской антеклизы // В книге: Геологическое строение, нефтегазоносность и перспективы освоения нефтяных и газовых месторождений Нижнего Приангарья. Тезисы докладов. Красноярск, 1996. С. 67-68.
13. Копылов И.С. Гидрогеологические и геохимические нефтегазопоисковые исследования в юго-западной части Сибирской платформы // В книге: Поиски и разведка месторождений нефти и газа в Красноярском крае. VIII региональная научно-практическая конференция. Красноярск, 1988. С. 112-113.
14. Копылов И.С. Гидрогеохимические показатели зоны гипергенеза Тунгусского бассейна и их нефтегеологическое значение // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении. Научные чтения памяти П.Н. Чирвинского. 2022. № 25. С. 141-147.

15. Копылов И.С., Баландин А.П., Гилько О.П., Шарова О.А., Васильева Н.М., Бурмина А.И. Результаты геокриологических, гидрогеологических и geoхимических нефтегазопоисковых работ в юго-западной части Сибирской платформы. Отчет о НИР. Красноярск: Енисейнефтегазгеология, 1992. 193 с.
16. Копылов И.С., Испанов Н.А., Тишина М.А. Комплексирование геологических, geoхимических и гидрогеологических методов при структурно-геологической съемке // В книге: Геология и нефтегазоносность Красноярского края. V региональная научно-практическая конференция. Красноярск, 1983. С. 75-77.
17. Кринин В.А., Порозов И.И. Зональность распределения углеводородов и нефтегазоносность осадочного чехла западной части Сибирской платформы // Геология нефти и газа. 2020. № 4. С. 29-44.
18. Методические рекомендации по geoхимическим методам поисков месторождений нефти и газа / Л.М.Зорькин, Н.В.Лопатин, О.В.Барташевич и др. М.: ОНТИ ВНИИГГ, 1975. 285 с.
19. Нефтегазоносность древних продуктивных толщ запада Сибирской платформы / А.К.Битнер, В.А.Кринин, Л.Л.Кузнецов и др. Красноярск, КФ СНИИГ-ГиМС, 1990. 114 с.

ANALYSIS OF GEOCHEMICAL FIELDS IN THE WEST OF THE SIBERIAN PLATFORM AND FORECASTING OIL AND GAS ACCUMULATION ZONES

I.S. Kopylov

georif@yandex.ru

Regional and forecast-re-reference geochemical studies were carried out in the west of the Siberian platform. Based on the results of the research, a comprehensive interpretation of geochemical indicators with the zoning and assessment of geochemical fields was performed. 30 large complex geochemical anomalies and 6 main groups of anomalies were installed, in which it is possible to predict the accumulation zones of oil and gas.

Keywords: geochemical methods for the search for oil and gas deposits, hydrosphere, lithosphere, phytosphere, geochemical anomalies, Siberian platform.