

**И.С. Копылов**

Пермский государственный национальный  
исследовательский университет, г. Пермь

## ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИПОВЕРХНОСТНОЙ ЛИТОСФЕРЫ И ФИТОСФЕРЫ НА ЗАПАДЕ СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ

Проведены геохимические исследования приповерхностной литосферы и фитосферы на западе Сибирской платформы. Результаты спектрального анализа по почвогрунтам (660 проб) и растительности (1300 проб) показывают на сложное распределение микроэлементов в зависимости от различных природных и техногенных факторов. Установлены различные аномалии в почвах по 11 микроэлементам (Mn, Ni, Ti, Zr, Cu, V, Pb, P, Ba, Sr), из них 8 комплексных аномалий в районах Юрубченского и Оморинского нефтегазовых месторождений. Геохимическое поле микроэлементов в фитосфере имеет сложную мозаичную структуру, выделены многочисленные мелкие аномалии по разным элементам.

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

**DOI: 10.17072/chirvinsky.2024.73**

**Введение.** Западная часть Сибирской платформы (в адм. отношении – Красноярский край) с точки зрения нефтегазоносности, изучена крайне неравномерно. Наиболее интенсивно геологоразведочные работы велись в восьмидесятые годы XX в. примерно до 1992 г. В этот период были открыты все основные наиболее крупные месторождения нефти [1, 12]. В этот же период проводились геохимические поиски нефти и газа (ГПНГ), на разных стадиях изучения (региональной, прогнозно-рекогносцировочной, оценочной), включающих: гидрогазобиохимические, литогазгеохимические, битуминологические и др. съемки [2, 7].

Геохимические исследования по компонентам приповерхностной литосферы и фитосферы относятся к опытно-методическим лито-фито-геохимическим исследованиям, которые обычно проводятся в комплексе; специализированных работ проведено крайне мало. Сущность фитогеохимических исследований при работах на нефть и газ, заключается в изучении распределения химических элементов в зольных остатках растений путем их систематического опробования с целью выявления и локализации аномальных участков концентрации и рассеивания этих элементов [3, 15].

Опыт применения фитогеохимического метода на месторождениях-эталопах (на нефтегазоносных площадях Восточной и Западной Сибири) указывает на его хорошую сходимость с результатами традиционных геохимических методов, а совместная интерпретация геохимических аномалий повышает достоверность нефтегазоперспективного прогнозирования [16, 17].

**Методика и результаты.** На западе Сибирской платформы в пределах Байкитской антеклизы литогеохимические и фитогеохимические исследования входили в общий комплекс ГПНГ и региональных геоэкологических исследований, проводимых Северной ГПП «Енисейнефтегазгеология». Методика проведения этих работ, критерии оценки перспектив нефтегазоносности, описание результатов исследований по различным геохимическим показателям, а также характеристика геолого-геохимических условий приведены в наших работах [4-9].

Оценка состояния приповерхностной литосферы и фитосферы проведена путем лито- и биогеохимического опробования грунтов и растительности с последующим спектральным анализом. Площадь изучения составила более 20 тыс. км<sup>2</sup>. В центральной части Байкитской антеклизы (Камовский свод, Юрубчено-Тохомская зона нефтегазоаккумуляции) территория значительно подвержена техногенному воздействию (пробурено более 200 глубоких скважин). Для анализа возможного влияния нефтегазопоисковых и разведочных скважин на растительность и почвогрунты проводилось комплексное опробование на промплощадках скважин и на фоновых участках. При этом в основном, пробы отбирались не на самих площадках, где на сильно загрязненных участках у скважин заведомо были бы высокие значения микроэлементов, а на границе промплощадок примерно в 100 м от скважин.

На отдельных промплощадках проводилось детальное опробование. Так, литогеохимический мониторинг на промплощадке скважины Юр-65 во время ее бурения в 1992 г. (60 проб) показал на сильную загрязненность почв тяжелыми металлами на самой площадке. Анализ содержания нефтепродуктов в грунтах показывает повышенное их содержание на всех изученных площадках скважин. На участках скважин Юр-8, Юр-10, Юр-20, Юр-25 содержания нефтепродуктов в грунтах превышают фон в 2-3 раза, а на скважине Юр-5 (промысловый участок) – в 20 раз.

Результаты спектрального анализа по почвогрунтам (660 проб) и растительности (1300 проб) показывают на сложное распределение микроэлементов в зависимости от различных природных и техногенных факторов (таблицы 1 и 2).

Таблица 1

Сравнительный анализ содержания микроэлементов в почвах и грунтах на фоновых и техногенных участках ( $n = 10^{-3}\%$ )

Элементы	Min-max среднее		ПДК и ОДК	Кларк почв: по А.П.Виноградову, 1962 по Л.Н.Овчинникову, 1990	Элементы	Min-max среднее		ПДК и ОДК	Кларк почв: по А.П.Виноградову, 1962 по Л.Н.Овчинникову, 1990
	Фоновые точки	Пром-площадки скважин				Фоно-вые точки	Пром-площадки скважин		
<b>Pb</b>	<u>0,3-5,0</u> 0,8	<u>0,3-3,0</u> 1,0	3*	1 4	<b>Va</b>	<u>20,0-100</u> 49,0	<u>20,0-100,0</u> 73,0	62,5 ****	50 50
<b>Cu</b>	<u>2,0-10,0</u> 3,6	<u>3,0-6,0</u> 4,0	6,6**	2 3	<b>Be</b>	<u>0,1-0,6</u> 0,15	<u>0,1-0,3</u> 0,15	1***	0,6 0,6
<b>Zn</b>	<u>4,0-10,0</u> 7,6	<u>4,0-10,0</u> 8,1	11**	5 8,4	<b>Sr</b>	<u>10,0-100</u> 16,0	<u>10,0-40,0</u> 21,0	60***	30 38
<b>Co</b>	<u>0,2-3,0</u> 0,9	<u>0,2-3,0</u> 1,0	5***	1 1,3	<b>Zr</b>	<u>10,0-40,0</u> 17,0	<u>10,0-40,0</u> 15,0	30***	30 30
<b>V</b>	<u>2,0-20,0</u> 8,0	<u>4,0-20,0</u> 9,0	15*	10 15	<b>Nb</b>	<u>0,8-1,0</u> 0,7	<u>0,8-1,0</u> 0,8	-	- -
<b>Cr</b>	<u>1,0-20,0</u> 9,4	<u>1,0-20,0</u> 10,4	38 ****	20 -	<b>B</b>	<u>1,8-8,0</u> 2,4	<u>2,0-5,0</u> 3,4	-	1 -
<b>Ni</b>	<u>1,0-8,0</u> 2,8	<u>1,0-8,0</u> 4,0	4**	4 11	<b>P</b>	<u>60,0-80,0</u> 57,0	<u>60,0-80,0</u> 60,0	20*	80 73
<b>Ti</b>	<u>200-1000</u> 538	<u>200-1000</u> 587	500 ***	460 420	<b>Y</b>	<u>1,0-8,0</u> 3,0	<u>1,0-8,0</u> 3,0	-	- 5
<b>Mn</b>	<u>20,0-200</u> 69,0	<u>30,0-200,0</u> 91,0	150*	85 85	<b>Yb</b>	<u>0,2-0,6</u> 0,3	<u>0,2-0,6</u> 0,3	-	- -
<b>Ga</b>	<u>0,2-2,0</u> 1,0	<u>0,6-2,0</u> 1,1	1***	- 2,3	<b>La</b>	<u>3,0-5,0</u> 3,4	<u>3,0-5,0</u> 3,2	-	- -
<b>Mo</b>	<u>0,1-0,3</u> 0,1	<u>0,1-0,3</u> 0,1	1***	0,2 0,2	<b>Sc</b>	<u>1,0-4,0</u> 1,7	<u>1,0-4,0</u> 1,3	-	- -
<b>Sn</b>	<u>0,1-0,3</u> 0,17	<u>0,1-0,3</u> 0,17	30 ****	1 1	<b>Li</b>	<u>1,0-2,0</u> 1,5	<u>1,0-2,0</u> 1,5	-	3 -

\* Методические указания по оценке степени опасности загрязнения почвы химическими веществами. Минздрав СССР, М., 1982

\*\* Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) тяжелых металлов и мышьяка в почвах.

\*\*\* Ильин В.Б. Тяжелые металлы в системе почва-растение. АН СССР. Новосибирск, 1995

\*\*\*\* Зарубежные нормы. СП111-102-97. Инженерно-экологические изыскания для строительства. М.:ПНИИИС Госстроя России, 1997.

Таблица 2

Сравнительный анализ содержания химических элементов в растительности по двум уровням ( $n \cdot 10^{-3} \%$ )

Элементы	Min-max среднее		Коэф. биол. погл., верхний уровень нижний уровень	Кларк растений в золе по А.П.Виноградову, 1962	Элементы	Min-max среднее		Коэф. биол. погл., верхний уровень нижний уровень	Кларк растений в золе по А.П.Виноградову, 1962
	Нижний уровень (n = 620)	Верхний уровень (n = 647)				Нижний уровень (n = 620)	Верхний уровень (n = 647)		
<b>Pb</b>	<u>0-430</u> 3,4	<u>0-50</u> 1,5	<u>1,7</u> 3,7	1	<b>Be</b>	<u>0-1,0</u> 0,5	<u>0-0,2</u> 0,2	<u>0,1</u> 0,3	0,2
<b>Cu</b>	<u>0-100</u> 6,5	<u>0-30</u> 5,6	<u>1,5</u> 3,8	20	<b>Sr</b>	<u>0-600</u> 52,8	<u>0-1000</u> 61,5	<u>3,2</u> 2,8	30
<b>Zn</b>	<u>0-500</u> 35,5	<u>0-500</u> 90,7	<u>11,3</u> 4,5	90	<b>Zr</b>	<u>0-30</u> 8,6	<u>0-30</u> 8,1	<u>0,5</u> 0,5	-
<b>Co</b>	<u>0-10</u> 0,3	<u>0-10</u> 0,1	<u>0,1</u> 0,3	1,5	<b>V</b>	<u>0-80</u> 15,4	<u>0-80</u> 17,5	<u>5,8</u> 5,1	40
<b>V</b>	<u>0-20</u> 2,1	<u>0-15</u> 0,8	<u>0,1</u> 0,2	6,1	<b>P</b>	<u>100-1000</u> 702	<u>100-1000</u> 859	<u>14,8</u> 12,1	7000
<b>Cr</b>	<u>0-600</u> 4,4	<u>0-50</u> 2,3	<u>0,2</u> 0,4	25	<b>K</b>	<u>900-12000</u> 7630	<u>900-12000</u> 9500	-	3000
<b>Ni</b>	<u>0-600</u> 1,4	<u>0-20</u> 1,4	<u>0,5</u> 0,5	5	<b>Na</b>	<u>800-3000</u> 1420	<u>100-3000</u> 1160	-	2000
<b>Ti</b>	<u>0-800</u> 105	<u>0-400</u> 43	<u>0,1</u> 0,2	100	<b>Ca</b>	<u>4000-12000</u> 7980	<u>10000-12000</u> 9920	-	3000
<b>Mn</b>	<u>0-1000</u> 233,8	<u>0-1000</u> 327,3	<u>4,3</u> 3,1	750	<b>Mg</b>	<u>1000-12000</u> 3070	<u>2000-12000</u> 4100	-	7000
<b>Mo</b>	<u>0-10</u> 0,4	<u>0-10</u> 0,2	<u>2,1</u> 3,3	2	<b>Al</b>	<u>200-10000</u> 2010	<u>300-10000</u> 1220	-	1400
<b>Sn</b>	<u>0-10</u> 0,3	<u>0-10</u> 0,2	<u>1,2</u> 1,8	0,5	<b>Fe</b>	<u>100-3000</u> 1220	<u>100-3000</u> 1130	-	1000
<b>Ba</b>	<u>0-600</u> 150,5	<u>0-600</u> 154,3	<u>2,6</u> 2,6	10 n	<b>Si</b>	<u>6000-10000</u> 7040	<u>5000-10000</u> 3370	-	15000

Для анализа генетических особенностей и структуры геохимических полей применялись корреляционный анализ и системный анализ геохимических данных, основанный на установлении пространственных визуальных и статистических связей выделенных геохимических полей между собой, геологическими, структурно-тектоническими условиями площади и техногенными объектами (скважинами). Для определения влияния факторов на распределение микроэлементов и установления связей между группами микроэлементов пробы почв были сгруппированы на совокупности по ландшафтам, гипсометрии, литологии. Вероятно в силу того, что пробы отбирались с учётом условий однородной среды, эти факторы не оказали существенного влияния на распределение элементов. Но коэффициенты парной корреляции по элементам показывают

различные связи между ними. Корреляционным анализом по почвам установлено несколько групп элементов со значительными положительными связями между собой: Ti-Cr-Ba-Y; Ti-Cr-Ba-Mn; Ti-Y-Zn-P; Pb-Cu-Cr; Pb- Zn и др. Подобные ассоциации элементов установлены в других регионах, например в Приуралье и Урале [10, 11].

Пространственно точки с повышенными содержаниями элементов группируются в несколько аномалий. Установлены различные аномалии с превышением ПДК или ОДК по 11 микроэлементам (Mn – до 1,3 ПДК, Ni – до 2 ПДК, Ti – до 2 ПДК, Zr – до 1,3 ПДК, Cu – до 1,5 ПДК, V – до 1,3 ПДК, Pb – до 1,7 ПДК, P – до 4 ПДК, Ba – до 1,7 ПДК, Ga – до 2 ПДК, Sr – до 1,6 ПДК). Многие аномалии имеют небольшую площадь или зафиксированы по отдельным точкам, другие представляют обширные поля Ti, Ba и др. (с превышением фона по ПДК). Пространственное сочетание аномальных полей также различно. Одни аномалии изолированы, другие создают комплексные аномальные участки. Наиболее крупные комплексные аномалии выделяются по Pb, Cu, Cr, на отдельных участках к ним добавляются Ti, Ba, Mn, Co. При этом 8 комплексных аномалий по микроэлементам в почвах с площадями 100-400 км<sup>2</sup> установлены в районах Юрубченского и Оморинского месторождений; 10 аномалий, уступающих им по размеру (30-200 км<sup>2</sup>), установлены в фоновом районе – в верхнем и среднем течении р. Камо.

Фитогеохимическое опробование производилось по двум уровням: нижнему (в основном – мох, реже – трава) и верхнему (основном – ель, реже – береза, пихта). Анализ распределения малых элементов не показал существенных различий между растительными видами на каждом из уровней пробоотбора. Известно, что растения способны избирательно поглощать из среды и накапливать (в золе) те или иные элементы. Эта способность характеризуется коэффициентом биологического поглощения (Кб), который представляет собой отношение содержаний микроэлементов в золе растений к их содержаниям в почве [13, 14]. Средние валовые содержания микроэлементов в растениях ландшафтов рассматриваемой территории и коэффициенты их биологического поглощения показывают на различную интенсивность биологического поглощения (табл. 2), по средним значениям которого (по верхнему уровню) микроэлементы образуют следующий ряд: P > Zn > B > Mn > Sr > Ba > Mo > Pb > Cu > Sn > Zr > Ni > Cr > Ti = V = Co = Be. Полученные данные позволяют отнести P и Zn к элементам сильного биологического накопления ( $K_b = n \div 10 n$ ); B, Mn, Sr, Ba, Mo, Pb, Cu, Sn – к элементам среднего биологического захвата ( $K_b = n$ ); Zr, Ni, Cr, Ti, V, Co, Be – к элементам слабого и очень слабого биологического захвата ( $K_b = 0, n \div 0,0 n$ ). Это

соответствует в целом положению этих микроэлементов в рядах биологического поглощения А.И. Перельмана [14]. Сравнительный анализ распределения микроэлементов по разным уровням растительности показал, что Pb, Cu, Cr, Ti, Mo, Zr, V, Co, Sn, Ag, Be, Na, Al, Fe, Si имеют более высокие содержания в нижнем уровне растительности; P, Zn, Mn, Sr, B, K, Ca, Mg характеризуются более высокими содержаниями в верхнем уровне растительности; Ba и Ni имеют близкие средние концентрации по обоим уровням. Геохимическое поле микроэлементов в фитосфере имеет сложную мозаичную структуру; выделены многочисленные мелкие аномалии по разным элементам. Но все аномалии по обоим уровням растительности группируются в две крупные зоны повышенных содержаний: первая (площадью около 2500 км<sup>2</sup>) охватывает техногенные районы Юрубченского и Оморинского месторождений, вторая (площадью около 1000 км<sup>2</sup>) – охватывает фоновый участок в верховье р. Тайги.

Генетическая природа аномалий, как литогеохимических, так и фитогеохимических, вероятно, комплексная. Отмечаются более высокие средние значения содержания микроэлементов на промплощадках скважин по сравнению с фоновыми участками, однако эти различия, в целом, не очень существенны. Выше уже отмечалась сильная загрязненность тяжелыми металлами некоторых промплощадок действующих скважин на момент обследования. С другой стороны, наблюдается приуроченность некоторых аномалий к зонам тектонических нарушений глубинных разломов и локальным поднятиям. Значительную роль в перераспределении микроэлементов играют лесные пожары, довольно частые в летнее время. Поэтому, в целом не исключая антропогенного влияния на формирование аномалий, главную контролирующую роль на рассматриваемой территории играет природный фактор, обусловленный геодинамическими, структурно-тектоническими, ландшафтно-геохимическими и биогеохимическими (миграционными) процессами.

**Заключение.** В результате анализа распределения химических элементов для изученной территории установлено, что наиболее высокое содержание относительно фона и экологически опасными являются следующие элементы (по классификации ИМГРЭ, 1999): 1 класса опасности – P (фон 2,9 ПДК и аномалии до 4 ПДК, но близки к кларковым содержаниям), Zn (фон 0,7 ПДК, аномалии не выходят за пределы ПДК), Pb (фон 0,3 ПДК, аномалии до 1,6 ПДК); 2 класса опасности – Ni (фон 0,8 ПДК, аномалии до 2 ПДК), Cu (фон 0,6 ПДК, аномалии до 1,5 ПДК); 3 класса опасности – Ba (фон 0,9 ПДК), V (фон 0,6 ПДК), Mn (фон 0,5 ПДК), Sr (фон 0,3 ПДК), аномалии по этим элементам не превышают

1,3-1,6 ПДК. Обращают на себя внимание нелимитируемые элементы (с неустановленным классом опасности) – Ti и Ga - они имеют высокий фон 1,0- 1,1 ПДК и аномалии до 2 ПДК. Далее следуют Cr, Co, Mo, и другие элементы с невысоким содержанием.

Проведенные лито-фитогеохимические исследования на нефтегазоносных площадях Байkitской антеклизы показывают на неоднозначную трактовку полученных результатов для нефтегазоперспективного прогнозирования. Необходимо продолжать опытно-методические работы по этим методам на опорных участках с учетом структурно-тектонических, неотектонических, ландшафтно-геохимических и ландшафтно-геодинамических факторов.

#### *Библиографический список*

1. *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.
2. *Геохимические методы поисков нефтяных и газовых месторождений / О.В. Барташевич, Л.М. Зорькин, С.Л. Зубайраев и др.* М.: Недра. 1984. 300 с.
3. *Колмогорова Л.Г., Стадник Е.В.* Фитогеохимические исследования в нефтегазоносных районах и возможность комплексной интерпретации // Геол., методы поисков и разведки месторождений нефти и газа: Обзор / ВНИИ экон. минер. сырья и геол.-развед. работ (ВИЭМС). 1989. 52 с.
4. *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.
5. *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.
6. *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.
7. *Копылов И.С.* Геоэкология нефтегазоносных районов юго-запада Сибирской платформы. Пермь: Перм. гос. нац. иссл. ун-т. 2013. 166 с.
8. *Копылов И.С.* Гидрогазогеохимические показатели нефтегазоносности Тунгусского бассейна // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении. Научные чтения памяти П.Н. Чирвинского. 2023. № 26. С. 122-128.
9. *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.
10. *Копылов И.С.* Литогеохимические закономерности пространственного распределения микроэлементов на Западном Урале и Приуралье // Вестник Пермского университета. Геология. 2012. №. 2 (15). С. 16-34.
11. *Копылов И.С.* Эколого-геохимические закономерности и аномалии содержания микроэлементов в почвах и снежном покрове Приуралья и города Перми // Вестник Пермского университета. Геология. Пермь. 2012. №. 4 (17). С. 39-46.

12. *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.
13. *Ландшафтно-геохимические основы фонового мониторинга природной среды / М.А.Глазовская, Н.С.Касимов и др.* М.: Наука, 1989. 264 с.
14. *Перельман А.И.* Геохимия ландшафта. 2- изд. М.: Высшая школа, 1975. 392с.
15. *Стадник Е.В.* Новые прямые методы геохимических поисков нефти и газа. Вып. 7 (66), М., ВНИИОЭНГ, 1984. 52 с.
16. *Сурнин А.И.* Фитогеохимический прогноз перспектив нефтегазоносности локальных площадей на малоизученных территориях Байкитской НГО // Гео-Сибирь. 2007. Т. 5. С. 47-50.
17. *Сурнин А.И., Литвинова И.В., Малков Д.С., Малкова М.С.* Применение фитогеохимического метода для оценки нефтегазоносности площадей глубокого бурения (результаты опытно-методических работ на эталонных месторождениях Иркутской области) // Гео-Сибирь. 2008. Т. 5. С. 35-39.

## GEOCHEMICAL RESEARCH OF SURFACE LITHOSPHERE AND PHYTOSPHERE IN THE WEST OF THE SIBERIAN PLATFORM

**I.S. Kopylov**

*georif@yandex.ru*

Geochemical research of the near-surface lithosphere and phytosphere in the west of the Siberian Platform were carried out. The results of spectral analysis of soils (660 samples) and vegetation (1300 samples) indicate a complex distribution of microelements depending on various natural and man-made factors. Various anomalies in soils for 11 microelements (Mn, Ni, Ti, Zr, Cu, V, Pb, P, Ba, Sr) were established, of which 8 complex anomalies were found in the areas of the Yurubchenskoye and Omorinskoye oil and gas fields. The geochemical field of microelements in the phytosphere has a complex mosaic structure; numerous small anomalies in different elements have been identified.

*Key words: geochemical methods for searching for oil and gas deposits, environmental geochemistry, near-surface lithosphere, phytosphere, geochemical anomalies, Siberian platform.*