

Методы — анализы — стандарты

Methods — Analysis — Standards /
Methoden — Analysen — Normen

УДК 550.7

Рязанова М.С.^{*},
Хаустов В.В.^{**},
Мартынова М.А.^{***}



М.С. Рязанова



В.В. Хаустов



М.А. Мартынова

Поисковый и экологический аспекты применения метода биогеохимической индикации

^{*}Рязанова Мария Светозаровна, аспирант, Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург
E-mail: maria-s-riazanova@j-spacetime.com; riasanova@yandex.ru

^{**}Хаустов Владимир Васильевич, доктор геолого-минералогических наук, профессор Юго-Западного государственного университета, г. Курск
E-mail: vladimir-v-khaustov@j-spacetime.com; okech@mail.ru

^{***}Мартынова Марина Анатольевна, кандидат геолого-минералогических наук, доцент, Главный специалист ООО «Геотест», Санкт-Петербург
E-mail: marina-a-martynova@j-spacetime.com; marmaran@mail.ru

В работе излагаются материалы по практической реализации нового метода биогеохимической индикации для геологоразведочных работ на углеводороды и экологического мониторинга. Определены аналитические параметры метода биогеохимической индикации. Установлены закономерности пространственного распределения биогеохимических параметров в продуктивных и непродуктивных объектах при поисках и разведке углеводородов. Анализ пространственного распределения концентрации белка в природных объектах позволяет выделить области, где загрязнение производит значимый экологический эффект.

Ключевые слова: микроорганизмы, концентрация белковых соединений, сорбционная активность пород, биогеохимическая индикация, нефтегазоносность, прогнозная модель, экологический мониторинг.

Биогеохимическая индикация представляет собой новое направление исследований в области геохимии, основанное на количественной характеристике процессов жизнедеятельности микроорганизмов по суммарному содержанию в горных породах микробной биопродукции (высокомолекулярных белковых соединений, входящих в состав бактериальных клеток и продуктов их метаболизма) [Муслимов, Нижарадзе 1999]. Диапазон практического применения метода биогеохимической индикации достаточно широк. Ниже приведены некоторые результаты его использования при поисках и разведке месторождений углеводородов, а также в экологических исследованиях.

Применение метода биогеохимической индикации при поисках и разведке углеводородов

Реализация метода биогеохимической индикации в практике нефтепоисковых работ связана с количественным анализом биохимических и микробиологических процессов в геологической среде, созданием математических моделей процессов аккумуляции микробной биопродукции и развития биогеохимических аномалий в разрезах над скоплениями углеводородов. Метод не имеет мировых аналогов, результаты исследований являются конкурентоспособными и защищены патентами [Nijaradze, Riazanova 1993; Нижарадзе, Рязанова 1995а; Нижарадзе, Рязанова 1995б; Муслимов, Нижарадзе и др. 2000].

Использование биогеохимической индикации при поисках углеводородов основано на следующих положениях:

- восходящая миграция углеводородов от залежи к дневной поверхности сопровождается развитием в горных породах специфических групп микроорганизмов;
- активизация процессов жизнедеятельности углеводород—потребляющих микроорганизмов на всем пути миграции углеводородов приводит к накоплению в породах микробной биопродукции и вызывает образование устойчивых биогеохимических аномалий;

Рязанова М.С., Хаустов В.В., Мартынова М.А. Поисковый и экологический аспекты
применения метода биогеохимической индикации

— моделирование процессов формирования биогеохимических аномалий позволяет оценивать перспективы нефтегазоносности площадей и прогнозировать глубокозалегающие скопления углеводородов по результатам тестирования первых сотен метров разреза.

Теоретическое обоснование метода и основные принципы интерпретации результатов экспериментальных исследований заключаются в следующем.

Регистрируемый в горных породах биогеохимический сигнал (БГХ—сигнал) является интегральной количественной характеристикой процессов аккумуляции биогенных соединений, контролирующей уровень развития сообществ микроорганизмов.

Распределение этого параметра в разрезах над залежами углеводородов подчиняется определенным закономерностям, которые аппроксимируются экстремальным асимметричным видом зависимости:

$$БГХС = a \cdot (H_0 - H_j)^b \cdot \exp [c \cdot (H_0 - H_j)], \quad (1)$$

где БГХС — биогеохимический сигнал; a , b , c — коэффициенты (установочные параметры) для данного типа разреза; H_0 — глубина продуктивного горизонта; H_j — удаление j -той точки опробования от продуктивного горизонта (**рис. 1**).

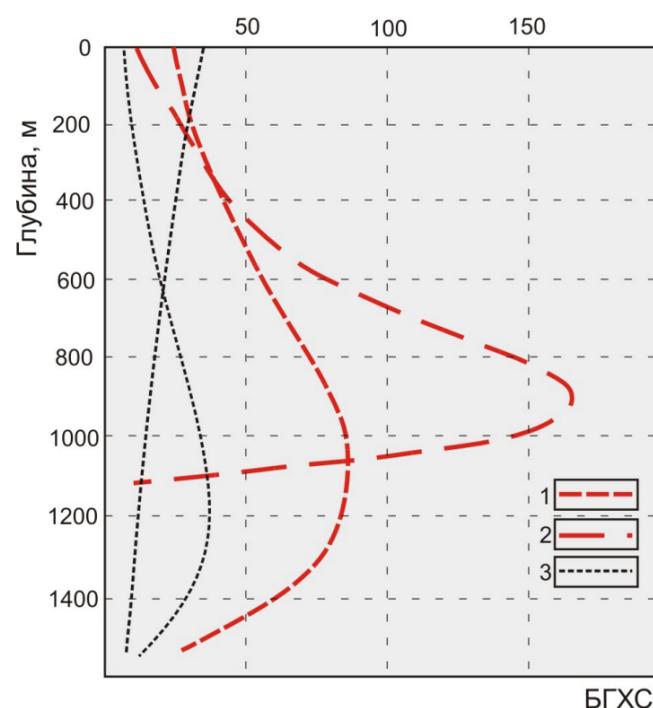


Рис. 1. Модельные зависимости БГХС — глубина: **1, 2** — продуктивные объекты; **3** — непродуктивные объекты

При поиске эмпирических зависимостей, наиболее адекватно описывающих поведение биогеохимических показателей, выбор данной целевой функции был неслучаен.

Во-первых, опыт исследований в различных нефтегазоносных регионах показывает, что функциональные зависимости этого класса одинаково успешно определяют вариации индикаторных параметров как в пределах аномалий над залежами углеводородов, так и в непродуктивной толще пород.

Сопоставление закономерностей, характеризующих пространственное распределение биогеохимических параметров в продуктивных и непродуктивных объектах, позволяет устанавливать различия между ними уже на незначительной глубине.

Во-вторых, как известно из общей теории роста микроорганизмов, аналогичным видом зависимости аппроксимируются закономерности роста микробных клеток (**рис. 2**). В зависимости от создаваемых при культивировании условий, микробный рост характеризуется прохождением последовательных фаз [Леворсен 1970; Кнатько и др. 1987; Рязанова 1999].

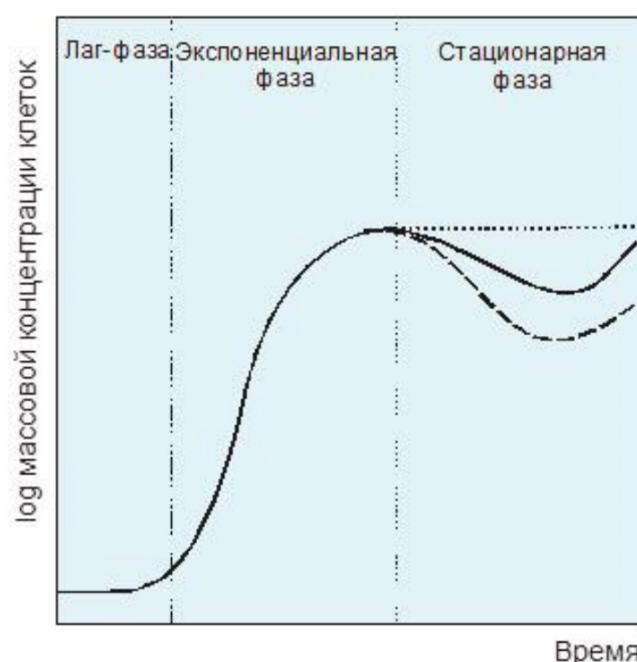


Рис. 2. Кинетика роста периодической культуры.

Рязанова М.С., Хаустов В.В., Мартынова М.А. Поисковый и экологический аспекты
применения метода биогеохимической индикации

Первой является лаг-фаза, во время которой клетки приспосабливаются к новым условиям и интенсивно не размножаются. Следующая за ней логарифмическая фаза характеризуется сбалансированным ростом микробных клеток с постоянной удельной скоростью. В случае динамического равновесия энерго- и массообмена популяции с внешней средой (непрерывное культивирование) экспоненциальный рост может длиться бесконечно долгое время. В условиях накопительного роста клеток в закрытой системе, связанных с воздействием факторов, ограничивающих рост, его скорость понижается вплоть до нуля и происходит переход в стационарную фазу, а затем, по мере уменьшения количества живых клеток и наступления лизиса, в фазу отмирания.

Анализируя динамику накопления биогенных соединений в разрезах над скоплениями углеводородов (рис. 1), также можно выделить период адаптации, фазу экспоненциального роста и последующего понижения продуктивности микробного сообщества в непосредственной близости к залежи. В отличие от рассматриваемых экспериментальных условий, где основным лимитирующим фактором является истощение питательных субстратов и накопление продуктов метаболизма, в природных системах развитие микробных биоценозов определяется совокупностью множества факторов (физико-химических, термодинамических, структурно-текстурных, концентрационных и пр.).

Все факторы среды имеют область оптимальных нагрузок, выше и ниже которых продуктивность микробного сообщества снижается, причем лимитирующими микробный рост будут те факторы, значения которых наиболее близки к критическим (минимальным, связанным с дефицитом фактора, или максимальным, оказывающим ингибирующее воздействие). По-видимому, одним из таких факторов, ограничивающих микробный рост по мере приближения к залежи, является возрастание концентрации углеводородов до того уровня, к которому микроорганизмы не адаптируются.

Исследования адаптационных свойств микроорганизмов в природных экосистемах показывают, что существуют разные механизмы воздействия концентрационных факторов на продуктивность микробных биоценозов (рис. 3).



Рис. 3. Типовые кривые изменения уровня микробной биомассы:
1 — загрязнение, стимулирующее микробиологическую активность; 2 — токсичное загрязнение;
X — концентрация биомассы; W — интенсивность загрязняющего фактора

По сути, можно выделить два основных класса соединений, одни из которых (токсичные) оказывают исключительно негативное влияние на развитие микроорганизмов, сила которого пропорциональна интенсивности нагрузки, другие (подверженные биодegradации) вызывают отрицательные реакции только в том случае, если их содержание достигает критических значений. При малых нагрузках они стимулируют жизнедеятельность микроорганизмов, что приводит к избыточному продуцированию биомассы. Так как процессы миграции углеводородов обеспечивают постоянное поступление энергетических субстратов для синтеза микробных клеток, можно полагать, что формирование биогеохимических аномалий связано именно с эффектом эвтрофикации: в разрезах над скоплениями углеводородов экспоненциальный рост и накопление избыточных количеств микробной биомассы продолжается до тех пор, пока их содержание не превышает критических нагрузок.

Кроме того, предполагалось, что уравнение (1) позволяет учитывать не только закономерности микробного роста, но и процессы, связанные с миграцией и взаимодействием углеводородов с окружающей средой. Найденная эмпирическая зависимость оказалась весьма близкой к теоретической модели, описывающей фильтрационно-диффузионный процесс при взаимодействии мигрирующего компонента с однородной вмещающей средой:

$$C_T = \beta / (1 - \beta) \cdot G \cdot C_{иж} \cdot (x - x_n) \cdot \exp[-1/2 \cdot Y (x - x_n)^2] \cdot T \quad (2)$$

где C_T — концентрация мигрирующего компонента во вмещающей среде; β — доля объема, занимаемая подвижной фазой в общем объеме изучаемой среды; $C_{иж}$ — концентрация мигрирующего компонента в подвижной фазе; $(x - x_n)$ — путь, пройденный мигрирующим компонентом; G, Y — константы, характеризующие физико-химическое взаимодействие мигрирующего компонента со средой; T — время формирования фильтрационной аномалии.

Сопоставляя модели (1) и (2), можно отметить, что величины, характеризующие процесс транспортировки и взаимодействия мигрирующего компонента со средой (в нашем случае константы a, b и c) могут быть однозначно оценены лишь в чистых экспериментальных средах. Для сложных природных геологических систем заранее предсказать их величину или оценить вариации без использования обучающих эталонных объектов практически невозможно.

Рязанова М.С., Хаустов В.В., Мартынова М.А. Поисковый и экологический аспекты
применения метода биогеохимической индикации

Методика интерпретации результатов

В качестве эталонных объектов использованы как непродуктивные, так и продуктивные скважины с известными данными об их нефтегазоносности, отражающие особенности геологического строения региона. С их помощью отработывалась методика биогеохимических исследований применительно к конкретным геологическим условиям и исходя из конкретных прогнозных задач. Целью этих исследований являлось:

- анализ взаимосвязи используемых аналитических параметров в разных типах пород и учет влияния литологической неоднородности разрезов;
- обоснование прогнозных моделей и разработка критериев для решения поисковых задач;
- определение оптимальных интервалов или стратиграфических комплексов пород, предназначенных для прогнозных исследований.

Как показывает опыт наших исследований, наиболее информативным показателем, позволяющим в необходимой степени учитывать влияние литологических особенностей пород, является их сорбционная активность или способность частиц породы к аккумуляции биогенных компонентов. Это обусловлено тем, что микроорганизмы в породах находятся, главным образом, в адсорбированном состоянии, причем адсорбция на поверхности твердой фазы является их приспособительным свойством, выработанным в процессе эволюции. Чем выше степень дисперсности пород, тем больше удельная поверхность частиц, слагающих породу, а, следовательно, тем выше и их сорбционная способность.

В связи с этим, основным аналитическим параметром, используемым при прогнозировании глубокозалегающих скоплений углеводородов, является суммарная концентрация в горных породах высокомолекулярных белковых соединений (C_{CB}), входящих в состав микробных клеток и продуктов их метаболизма. Вспомогательным — показатель сорбционной активности пород (P_{CA}). Определение показателя сорбционной активности пород по оригинальной методике позволяет оценивать его величину в тех же пробах, которые используются для анализа суммарной концентрации микробной биопродукции, что представляет особую ценность при работе со шламовым материалом.

Взаимосвязь используемых аналитических параметров можно продемонстрировать на диаграмме, отражающей их изменчивость в породах разного литологического состава. Статистический анализ проводился по выборке объемом более 16 000 проб (рис. 4).

По положению на диаграмме можно выделить две группы пород, одна из которых представлена терригенными отложениями, другая — карбонатными или сульфатными. Особое положение занимают глины, которые благодаря высокому содержанию мелкодисперсной фракции обладают повышенной сорбционной способностью.

На фоне этих групп отчетливо прослеживается переход от литифицированных разностей терригенных пород к рыхлым и от карбонатных пород к мергелям и глинам.

Основные тенденции сохраняются и при разделении общей выборки на две совокупности, характеризующие продуктивные и непродуктивные разрезы, причем различия между ними являются статистически значимыми практически во всех разновидностях пород. Наличие определенной взаимосвязи между C_{CB} и P_{CA} и различный характер их взаимной изменчивости в продуктивных и непродуктивных объектах учитывается при нормировании концентрации суммарной биопродукции по величине сорбционной активности пород и построении прогнозных моделей.

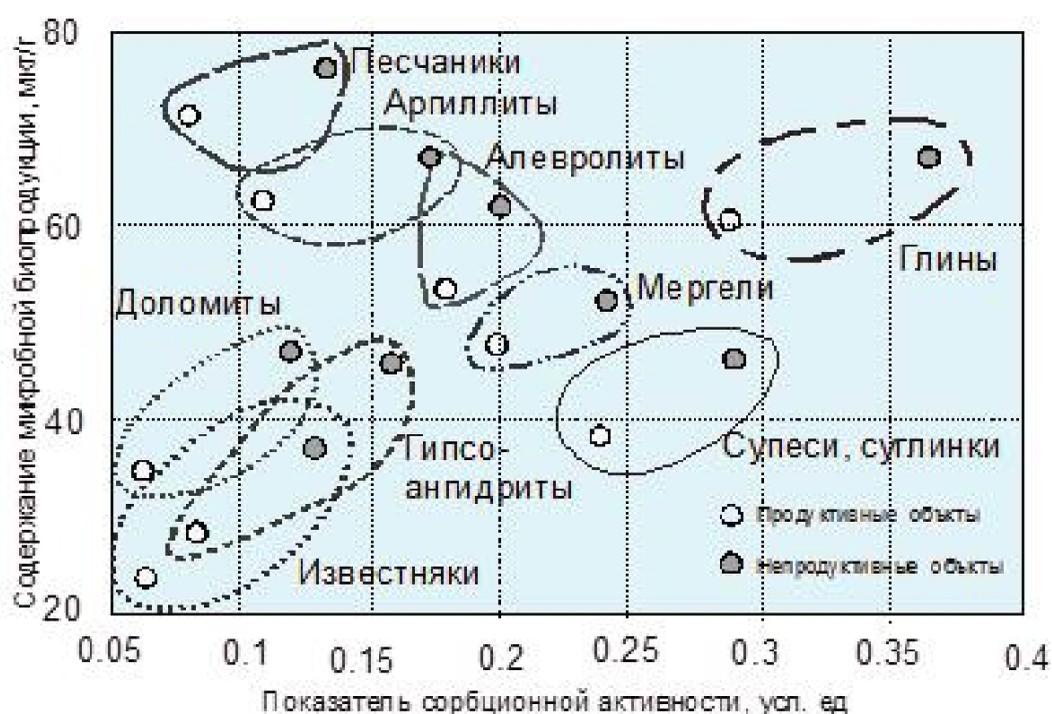


Рис. 4. Соотношение содержания микробной биопродукции и показателя сорбционной активности в различных литологических типах пород.

Эффективность такого преобразования можно проиллюстрировать на рис. 5, где представлены вариации исходных аналитических (C_{CB}) и нормированных (БГХС) параметров в биогеохимических разрезах продуктивных и непродуктивных объектов, опробованных в условиях юго-восточного склона Южно-Татарского свода (ЮТС).

Очевидно, что после процедуры нормирования различия, связанные с литологической неоднородностью разрезов, существенно снизились, в то время как доля полезного сигнала, обусловленного наличием углеводородов, значительно возросла.

**Рязанова М.С., Хаустов В.В., Мартынова М.А. Поисковый и экологический аспекты
применения метода биогеохимической индикации**

Сопоставление вариаций нормированных параметров в разрезах эталонных скважин, исследованных в одинаковых геологических условиях, показывает, что продуктивные и непродуктивные объекты отличаются как по интенсивности регистрируемого БГХ-сигнала, так и по характеру его распределения по глубине (**рис. 5**).

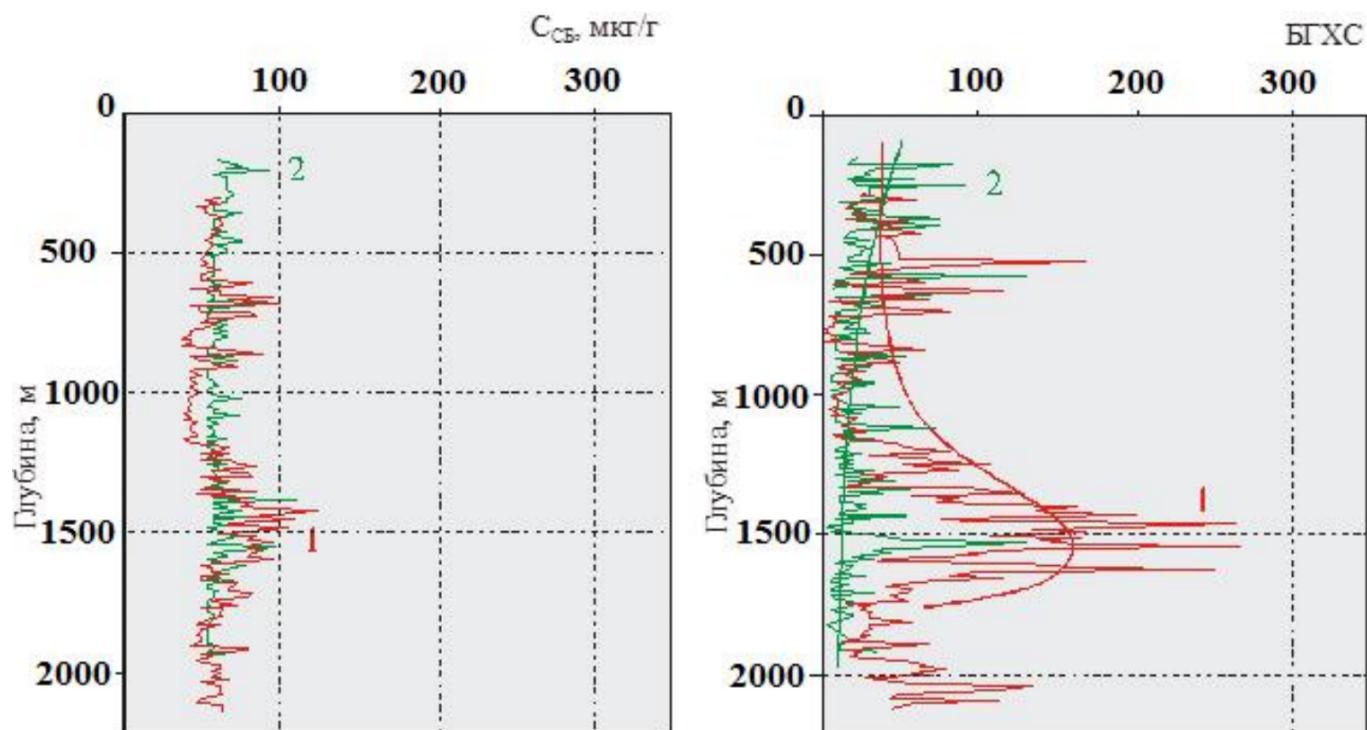


Рис. 5. Вариации исходных и нормированных параметров в биогеохимическом разрезе по эталонным скважинам (Башкортостан, Ю.-В. склон ЮТС): **1** — объект, продуктивный в терригенной толще нижнего карбона; **2** — непродуктивный объект

Таким образом, сравнительный анализ закономерностей пространственного распределения индикаторных параметров в продуктивных и непродуктивных разрезах является основой для решения классификационных задач.

Не обсуждая подробно математическую процедуру сопоставления эталонных объектов, можно отметить, что в пределах ограниченных интервалов разреза, используемых для прогнозных исследований, распределение индикаторного параметра с достаточной степенью надежности аппроксимируется линейным видом зависимости. В связи с этим для решения классификационных задач целевая функция (**1**) заменяется ее линейным приближением, а рабочие прогнозные модели базируются на методиках дискриминантного и регрессионного анализов.

Применение такого подхода позволяет подобрать прогнозную модель, которая оптимальным образом разделяет совокупности данных по продуктивным и непродуктивным объектам, дает возможность оценивать вероятность успешной классификации на заданных глубинах и выявлять наиболее информативные интервалы в исследуемых литостратиграфических комплексах пород (**рис. 6**).

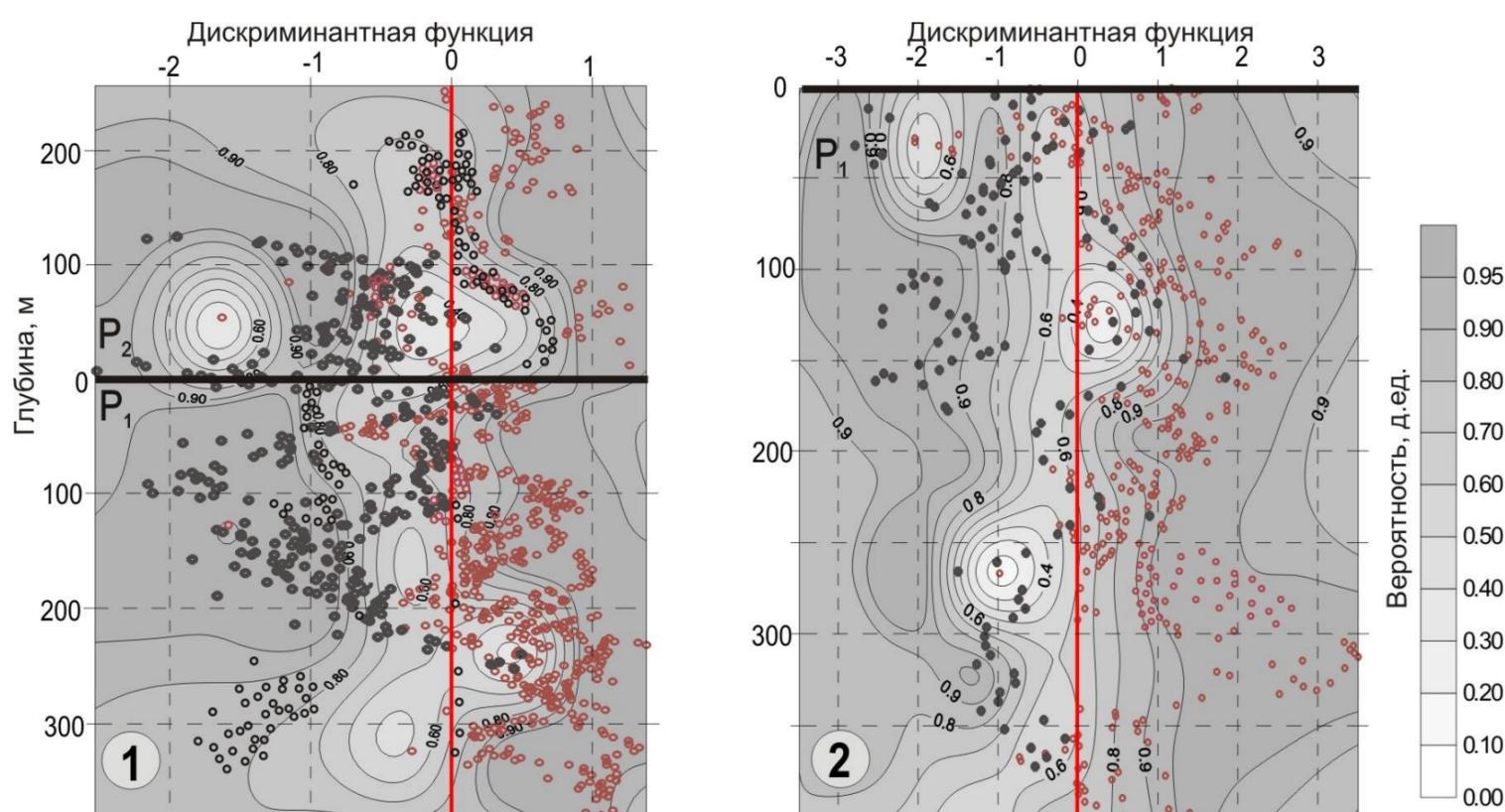


Рис. 6. Прогнозные диаграммы и достоверность классификации эталонных объектов по данным дискриминантного анализа (разрезы скоррелированы по кровле нижнепермских отложений).
Эталонные объекты: **красные точки** — продуктивные; **черные точки** — непродуктивные

В общем случае для решения этих задач может использоваться любой статистически значимо охарактеризованный интервал, отвечающий требованиям проведения тестирования (расположенный ниже уровня распространения загрязне-

Рязанова М.С., Хаустов В.В., Мартынова М.А. Поисковый и экологический аспекты
применения метода биогеохимической индикации

ний с поверхности — первые 20—50 м, не содержащий нефте- или битумонасыщенных пород, зон интенсивного развития карстовых процессов и т.п.), в пределах которого продуктивные и непродуктивные объекты классифицируются с достаточной степенью надежности. На территории площадей, характеризующихся региональной нефтебитумоносностью или развитием карста в приповерхностных отложениях, в качестве прогнозного интервала используется только та часть разреза, которая расположена ниже нефтебитумопроявлений или карстовых зон.

Приведенные результаты дискриминантного анализа показывают (рис. 6), что в исследованных комплексах перми и верхнего карбона продуктивные и непродуктивные эталонные объекты разделяются с достаточной степенью надежности. Исключение составляют локальные участки разрезов, приуроченные к границе карбонатных (P₁) и терригенных (P₂) пород, более низкая информативность которых учитывается в дальнейшем при тестировании объектов (рис. 6, диаграмма 1).

Наиболее уверенно объекты классифицируются в карбонатной толще нижней перми и верхнего карбона, поэтому сокращение мощности тест-интервалов из-за региональной нефтебитумоносности сакмарско-артинских отложений на юго-восточном склоне ЮТС практически не влияет на прогнозную оценку исследуемых объектов (рис. 6, диаграмма 2).

Сравнивая достоверность классификации объектов в исследованных комплексах пород, можно оценить их информативность для решения прогнозных задач и определить интервалы, наиболее благоприятные для проведения тестирования (рис. 7).

Анализ представленных кумулятивных кривых показывает, что для эталонной выборки восточного — северо-восточного склонов ЮТС вероятность успешного прогноза в комплексах верхней перми составляет 68,3—69,1%, по мере увеличения глубины опробования возрастая до 71,4—82,5% в ниже-пермских и верхнекаменноугольных отложениях (кривая 1). На юго-восточном склоне ЮТС в интервалах, исследованных ниже зон нефтебитумонасыщения на контакте сакмарско-артинских отложений (кривая 2), достоверность классификации составляет не менее 84,6—89,6%.

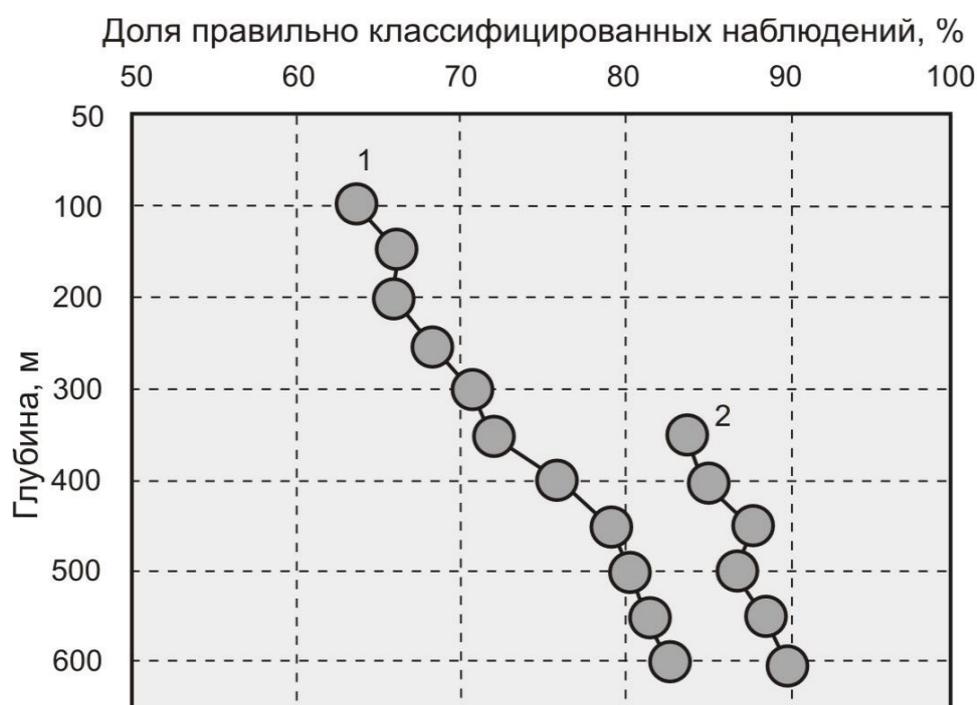


Рис. 7. Зависимость теоретической вероятности прогноза от глубины опробования (кумулятивная кривая по данным дискриминантного анализа)

Таким образом, более высокая информативность карбонатной части разреза, начиная с сакмарского яруса нижней перми, позволяет обеспечить достоверность прогнозов в интервалах протяженностью 200 — 250 м на том же уровне, что и при тестировании всего разреза скважин, и разрабатывать прогнозные оценки в условиях регионально нефтебитумоносных площадей.

В связи с этим при поисках перспективных структур прогнозное заключение может основываться на результатах тестирования:

- 1) либо всего разреза мелкой скважины, расположенного ниже уровня проникновения техногенного загрязнения;
- 2) либо интервалов ограниченной мощности (200 м), опробованных в наиболее информативных литостратиграфических комплексах пород, к которым в условиях Башкортостана можно отнести отложения сакмарского и ассельского ярусов нижней перми и верхнего карбона.

Процедура классификации объектов проводится следующим образом. В пределах интервалов, используемых для прогнозных исследований, рассчитывается соотношение наблюдений, относящихся к совокупности продуктивных или непродуктивных объектов, и соответствующая этим наблюдениям мощность опробованных интервалов. Принадлежность к категории перспективных или неперспективных объектов оценивается с помощью коэффициента продуктивности:

$$K_{II} = \sum m_p / \sum m_n, \quad (3)$$

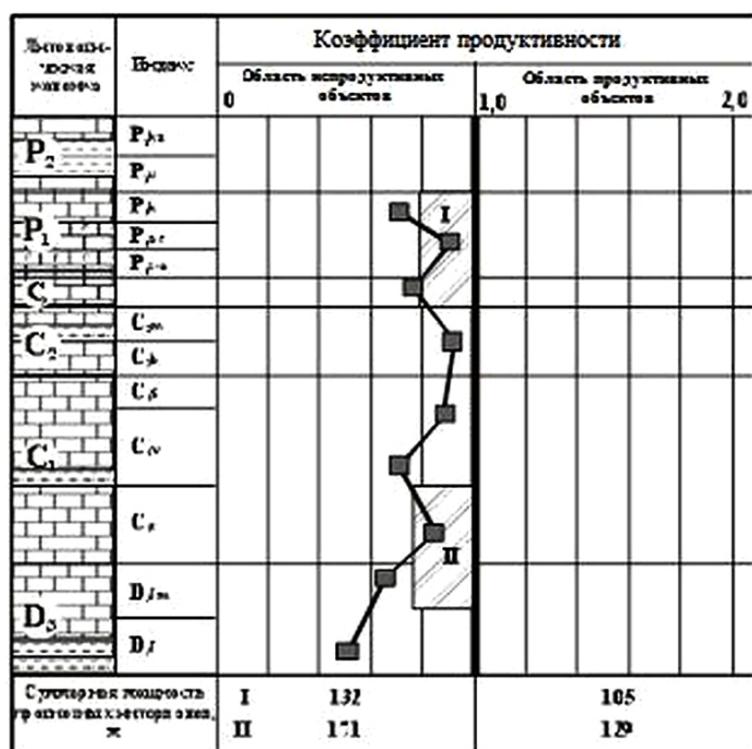
где K_{II} — коэффициент продуктивности; m_p — мощность интервалов, в которых наблюдения относятся к совокупности продуктивных объектов; m_n — мощность интервалов, в которых наблюдения соответствуют категории неперспективных.

**Рязанова М.С., Хаустов В.В., Мартынова М.А. Поисковый и экологический аспекты
применения метода биогеохимической индикации**

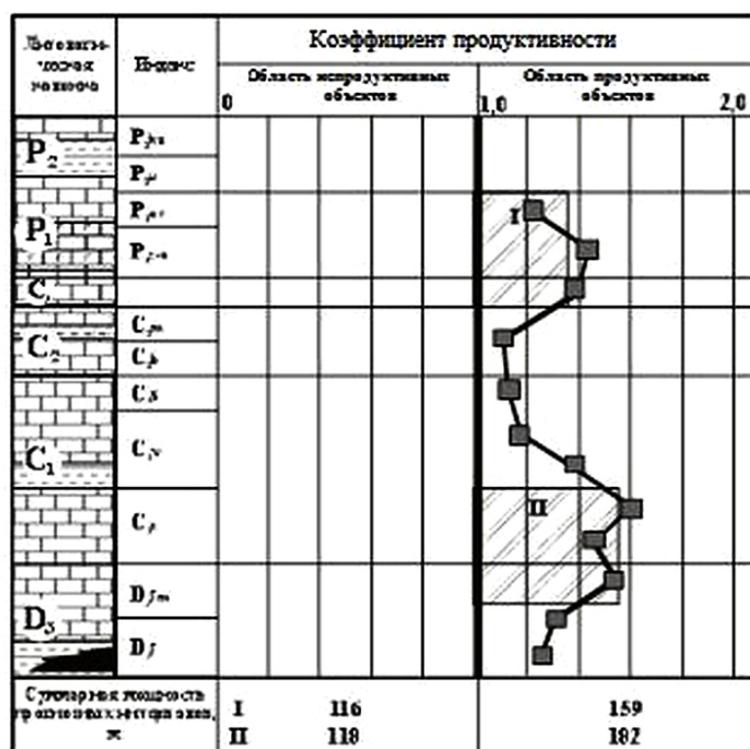
В продуктивных разрезах величина этого коэффициента устойчиво больше единицы, в непродуктивных, как правило, не превышает 0,95. Разрезы, характеризующиеся близкими к единице значениями коэффициента продуктивности, относятся к категории с признаками нефтеносности. Последняя категория объединяет объекты, занимающие, в силу разных причин, промежуточное положение между классами типичных продуктивных или непродуктивных объектов. Назначение этой категории состоит, главным образом, в том, чтобы попытаться классифицировать неперспективные объекты, в которых развитие аномалий может быть связано с влиянием нефтепроявлений различного характера — от локальных зон до нефтенасыщенных пластов, не имеющих промыслового значения.

Результаты тестирования объектов представляются в виде классификационных диаграмм, принципы построения которых можно продемонстрировать на примере эталонных разрезов, с помощью которых методики биотестирования отработываются применительно к условиям исследуемых площадей (рис. 8).

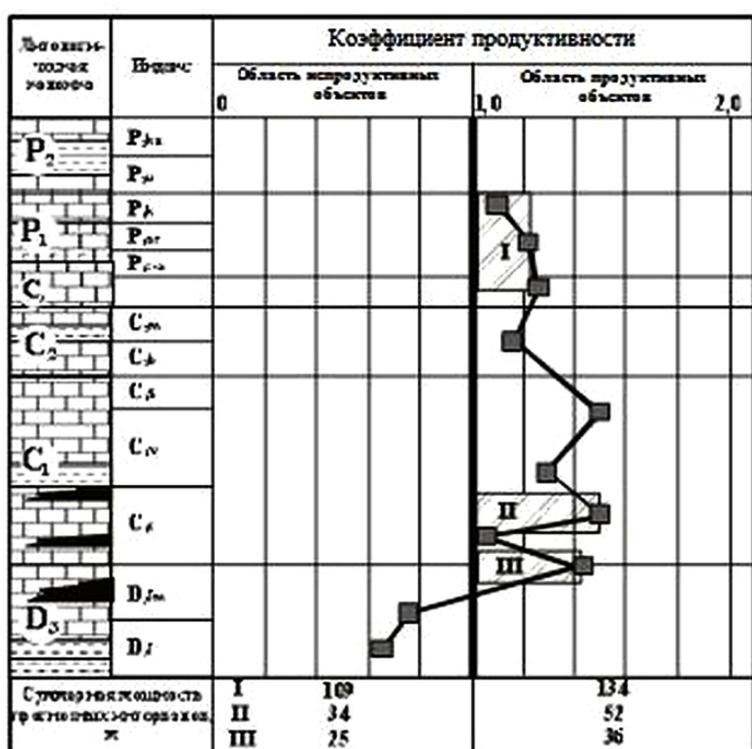
Расчет величины коэффициента продуктивности для каждого из выделенных в разрезе лито-стратиграфических интервалов, можно построить диаграммы, отражающие вариации значений этого параметра по глубине. Сопоставление классификационных диаграмм, характеризующих эталонные разрезы на территории ЮТС и его склонов, показывает, что различия между продуктивными и непродуктивными объектами установлены практически во всех исследованных комплексах пород.



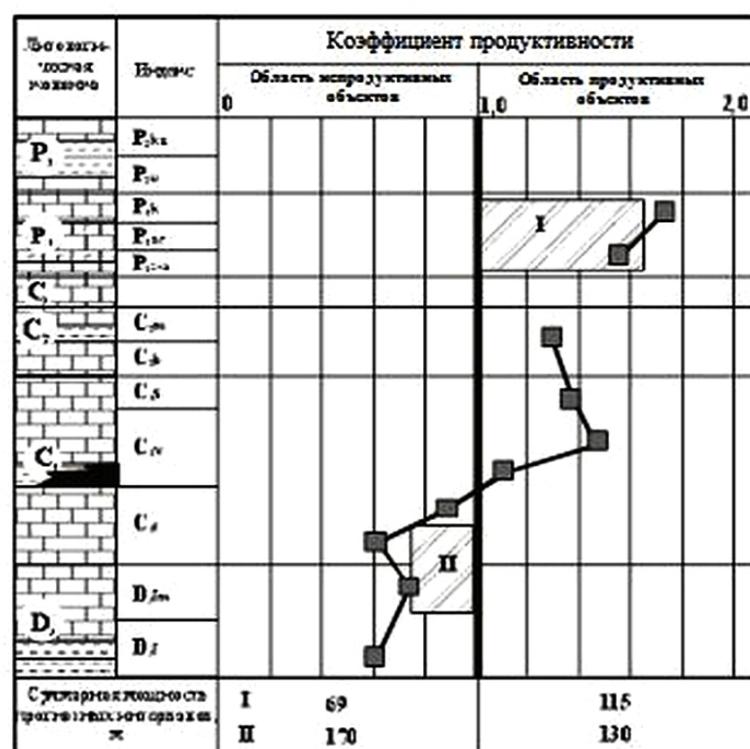
Северо-восточный склон ЮТС



Сводовая часть ЮТС



Юго-восточный склон ЮТС



Восточный склон ЮТС

Рис. 8. Классификационные диаграммы по результатам тестирования глубоких скважин

Таким образом, оценка перспективности объектов по результатам тестирования соответствует фактическим данным о нефтеносности разрезов, установленным бурением, что свидетельствует о высокой эффективности представленного метода биогеохимической индикации при поисках и разведке углеводородов.

Рязанова М.С., Хаустов В.В., Мартынова М.А. Поисковый и экологический аспекты
применения метода биогеохимической индикации

Применение метода биогеохимической индикации с целью экологического мониторинга

Существенным моментом функционирования любой экосистемы является поддержание равновесия между синтезом, биодegradацией и деструкцией биомассы.

Поддержание равновесного уровня биомассы обеспечивается постоянным потреблением биотой энергии. Загрязнение можно определить как измененные условия, при которых энергетическое равновесие отклоняется от уровня, обеспечивающего нормальное функционирование. Изменение потока энергии на входе в систему, вызванное нарушением круговорота веществ, приводит к дестабилизации экологического равновесия и смещению равновесного уровня биомассы.

В каждой функционирующей экосистеме имеет место деятельность микроорганизмов и, следовательно, синтез микробных клеток, выражающийся в поддержании микробной биомассы на равновесном уровне.

Реакции сообщества микроорганизмов на загрязнения относительно просты. По существу, выделяются всего два основных класса загрязняющих веществ, различающихся по виду и количеству. Одни вызывают исключительно отрицательные реакции организмов, сила которых пропорциональна интенсивности изменений. Другие вызывают отрицательные реакции только тогда, когда достигают уровня, к которому организмы не адаптируются [Нижарадзе и др. 1990].

Увеличение концентрации загрязняющего фактора вызывает пропорциональное изменение уровня биомассы. В одних случаях, при загрязнении токсичными элементами, происходит снижение уровня биомассы, обусловленное повышением скорости роста и размножения клеток, в то время как при больших нагрузках — их отмирание. В других случаях (например, при загрязнении среды углеводородами, продуктами свалок и животноводческих комплексов, являющихся благоприятной средой для развития микроорганизмов) происходит эвтрофикация (т.е. избыточный прирост микробной биомассы).

Изменение уровня биомассы микроорганизмов в природном объекте, подверженном загрязнению, является информативным показателем реакции биоты объекта на загрязнение. Такое изменение, контролируемое по биохимическому критерию, может быть эффективно использовано для экологического контроля [Нижарадзе и др. 1991].

В качестве показателя концентрации микробной биомассы в предложенном методе контроля экологического состояния геологической среды мы используем концентрацию суммарного белка ($C_{СБ}$), интегрирующего как белок микробных клеток, так и белковые продукты метаболизма. Аргументом в сторону использования этого показателя является то, что в бактериальных клетках концентрация белка постоянна и составляет около 50% от сухого веса клетки.

Нашими исследованиями выявлена тесная корреляционная связь между содержанием белка ($C_{СБ}$, мкг/г) и количеством бактериальных клеток (N , млн./г). На рис. 9 показано, что эта взаимосвязь может быть в целом охарактеризована определенным видом зависимости.

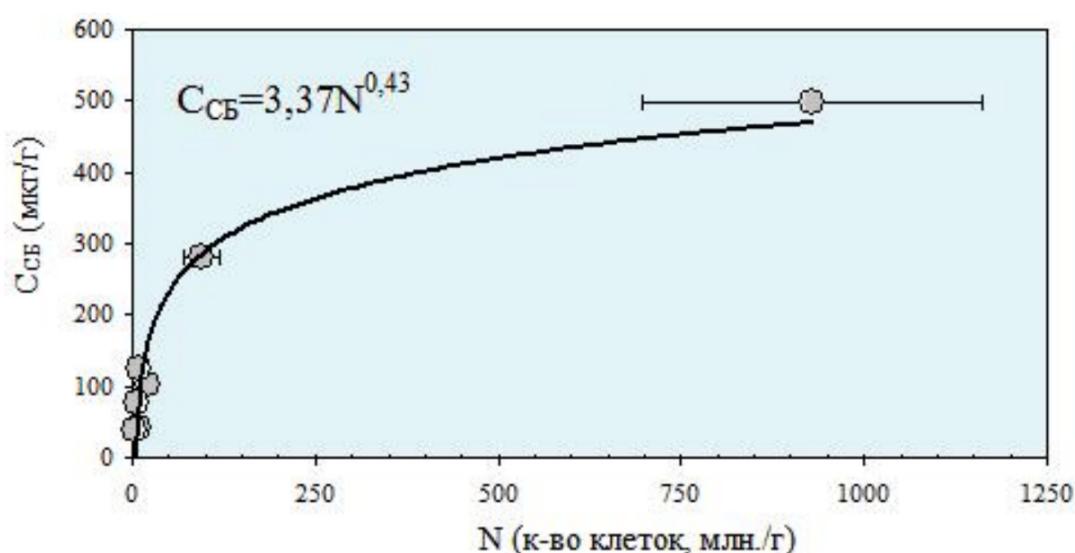


Рис. 9. Зависимость между содержанием белка и количеством бактериальных клеток.

Анализ пространственного распределения концентрации белка в природных объектах позволяет выделить области, где биомасса белковых сообществ отклоняется от нормы, характерной для данного объекта, т.е. обозначить зоны, где загрязнение производит значимый экологический эффект.

Тенденция изменения концентрации суммарного белка в загрязненной зоне позволяет судить о направленности экологического эффекта загрязнения — эвтрофикация или токсификация. Наличие жесткой пропорции между белком и биомассой в микробных сообществах позволяет количественно оценивать экологический эффект от загрязнения по изменению $C_{СБ}$ [Верзилин и др. 1991].

Таким образом, концентрация суммарного белка является индикатором экологического состояния природного объекта, а ее изменение — интегральной характеристикой реакции экосистемы на загрязнение. То есть, контроль над концентрацией суммарного белка в природных объектах с помощью биогеохимического тестирования может эффективно использоваться для оценки влияния различных видов техногенного загрязнения на экологическое состояние окружающей среды.

Основными направлениями практического применения метода белковой индикации и тестирования экологического состояния окружающей среды являются:

- выявление зон техногенных аномалий;
- установление путей миграции загрязняющих веществ;
- экологическое районирование территорий, подверженных техногенному загрязнению углеводородами, промышленными отходами, отходами домашних хозяйств, свалками и т.п.;

**Рязанова М.С., Хаустов В.В., Мартынова М.А. Поисковый и экологический аспекты
применения метода биогеохимической индикации**

- экологический мониторинг районов, подверженных воздействию человека;
- формирование баз данных для организации долговременного мониторинга территорий, подверженных техногенному загрязнению.

На сегодняшний день метод биогеохимического тестирования уже был успешно апробирован для оценки состояния окружающей среды в районах крупного промышленного и горнодобывающего производства (Тырныаузский вольфрам-молибденовый комбинат, Северный Кавказ; бумажная фабрика в Питкяранта, Карелия; полигон захоронения токсичных отходов «Красный Бор», Северо-Запад Российской Федерации); в акватории Финского залива после строительства дамбы; в районе свалок и прилегающих площадей (Либенальде, Нассенхайде, Хаммер, Гемарх, Гроссбернике, земли Бранденбург и Магдебург в Германии); районах подземных ядерных испытаний (полигон «Азгир», Северный Казахстан); зонах экологических катастроф (Чернобыль) [Нижарадзе и др. 1989; Хаустов 1990; Нижарадзе и др. 1992 и др.]. Рассмотрим некоторые из приведенных примеров.

**Район полигона по захоронению токсичных отходов
в Ленинградской области**

Полигон, расположенный в Ленинградской области, занимает около 500000 м² и использовался для захоронения гальванических (кислые и щелочные растворы Cu, Fe, Al, Zn, Ni, Cd, Cr, Mn и других солей и гидроокисей), токсичных отходов органических и нефтяных производств. Целью работы являлось выявление негативных изменений в окружающей среде, обусловленных влиянием полигона. Буровые скважины были расположены таким образом, чтобы уловить возможные аномалии, распространяющиеся от полигона к поселениям.

Геохимические исследования позволили установить следующее. Аномалии, выявленные с помощью геохимических исследований, расположены вблизи полигона (рис. 10Б).

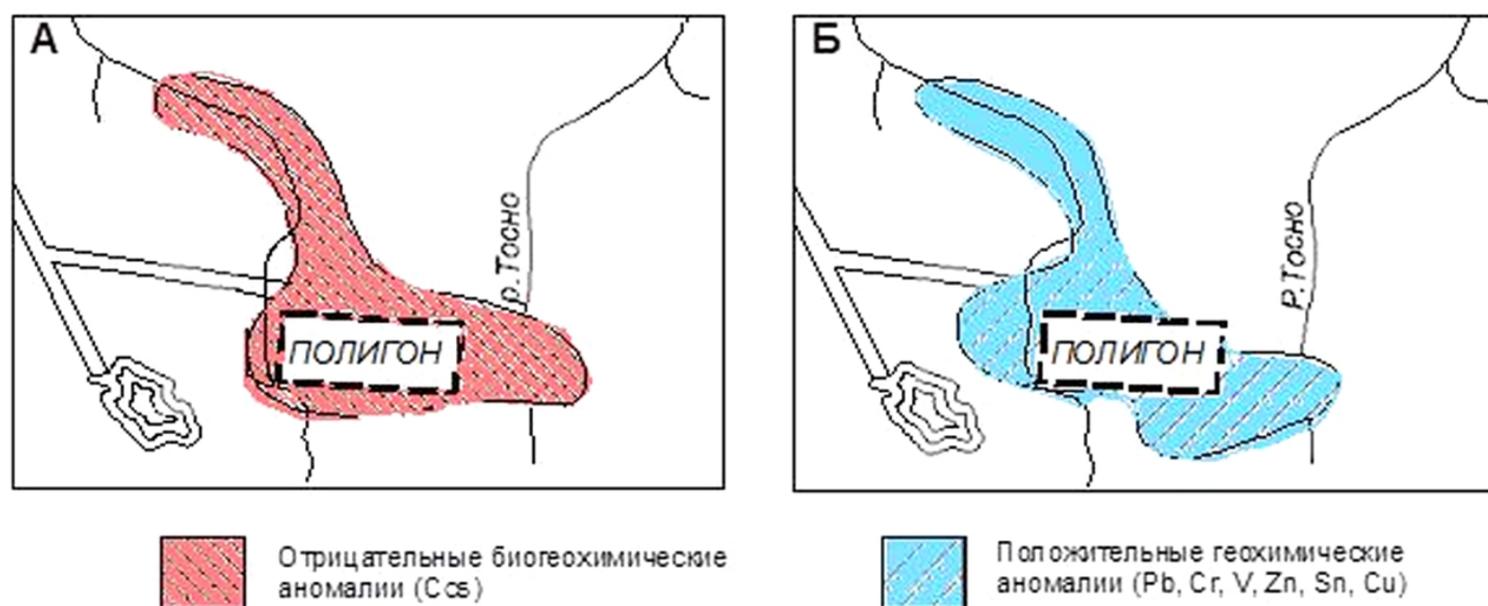


Рис. 10. Биогеохимические (А) и геохимические (Б) аномалии в районе полигона по захоронению токсичных отходов

В пределах этих аномалий наблюдается превышение международных норм по допустимой концентрации Pb, Cr, Sn, V, Cu и Zn в почвах, почвообразующих породах и донных отложениях (табл. 1).

Результаты биохимических (анализ концентрации белка) исследований хорошо согласуются с данными геохимических определений. Как видно на рис. 10А, контуры белковых аномалий (отрицательного характера) очень близки к контурам положительной геохимической аномалии (рис. 10Б). Выявленная в пределах белковой аномалии зональность (рис. 10А) без сомнений сформировалась под воздействием полигона.

Таблица 1

**Концентрация химических элементов в поверхностных слоях пород и на глубине 1 м
в сравнении с международными стандартами
(территория, прилегающая к полигону)**

Элементы	Pb	Cr	Sn	V	Cu	Zn
Средняя концентрация на поверхности, г/т	123	20	54	160	120	375
Средняя концентрация на глубине 1 метра, г/т	129	125	55	167	111	397
Международные стандарты, г/т	100	100	50	150	100	300

Это неудивительно — неблагоприятные условия окружающей среды, в том числе присутствие тяжелых металлов, должны приводить к снижению жизнедеятельности микроорганизмов и, следовательно, к снижению концентрации суммарного белка. Таким образом, выявленная по белку аномалия преобладает в зоне, в пределах которой загрязнение достигло экологически опасного уровня.

Рязанова М.С., Хаустов В.В., Мартынова М.А. Поисковый и экологический аспекты применения метода биогеохимической индикации

Полигон по захоронению бытовых отходов в Либенвальде, Германия

Объект Либенвальде представляет собой мусорную свалку, возникшую в 1972—1975 гг. на месте песчаного карьера. Свалка расположена вдоль шоссе Либенвальде — Зеденик и занимает около 10 000 м². Она предназначена для хранения бытовых и промышленных отходов. Бытовые отходы составляют около 70% от общего числа отходов. Промышленные отходы (≈ 30%) поступали от различных предприятий. Важно то, что свалка также использовалась для сброса навозной жижи. Прием отходов прекратился в 1991 г.

Исследования проводились в 1993 и 1999 гг., что позволило осуществить временной мониторинг. В этом смысле объект Либенвальде представляет собой хороший пример, позволяющий проследить динамику изменения экологического состояния окружающей среды, потому что информация, полученная в 1993 и в 1999 гг., позволяет провести сравнительный анализ.

Положительные аномалии, покрывающие две трети исследуемой территории, в 1999 г. практически не регистрируются, что подтверждает **рис. 11**. Это означает, что в 1993 г. условия были оптимальными для развития микробиологической деятельности. По-видимому, этот процесс был стимулирован присутствием на территории свалки органического материала (навозная жижа).

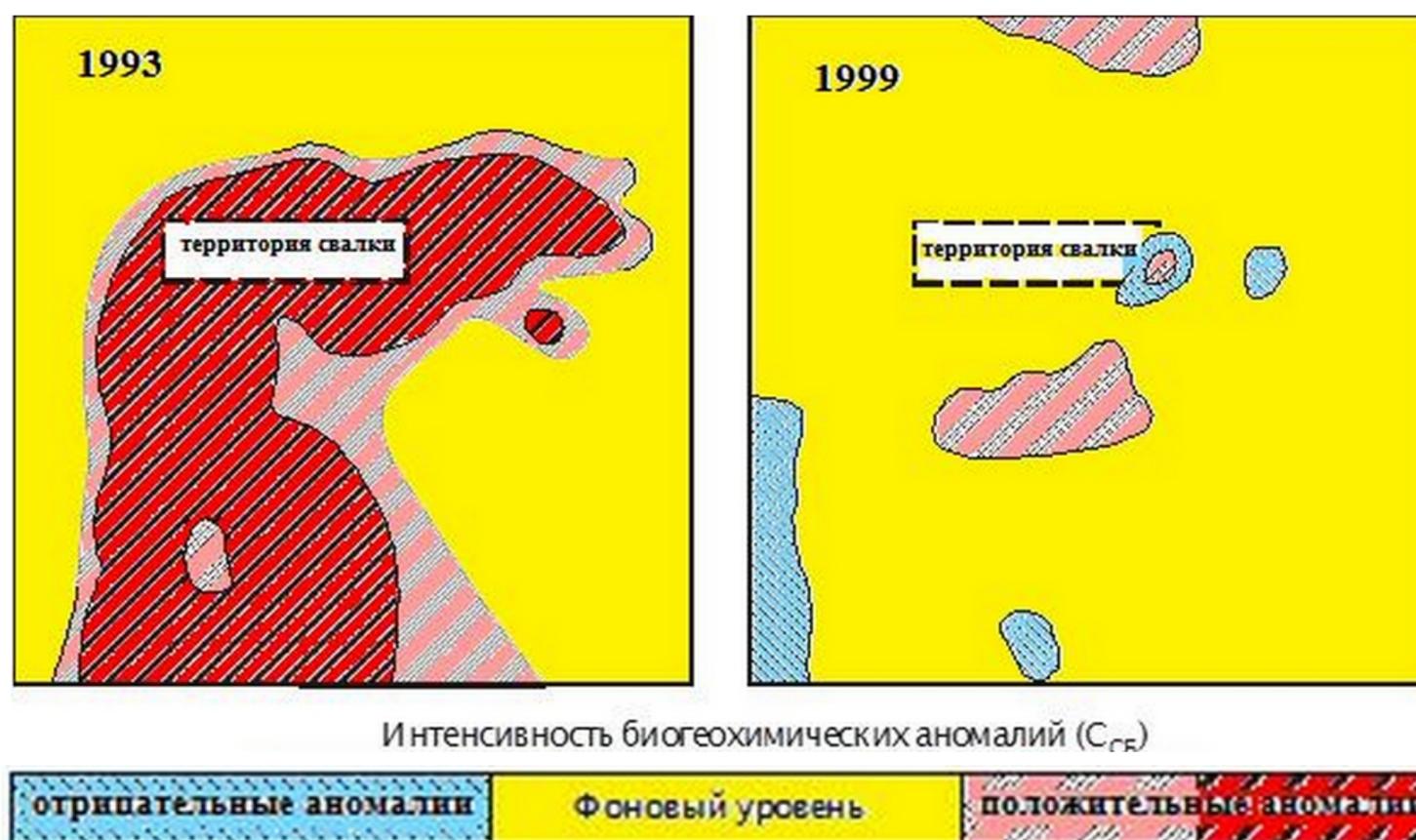


Рис. 11. Сопоставление биогеохимических аномалий на глубине 0,5 м в районе, прилегающем к свалке в 1993 и 1999 гг.

В настоящее время, когда свалка практически закрыта для сброса органического материала, положительные аномалии, наблюдавшиеся в 1993 г., больше не регистрируются. Большая часть территории характеризуется значениями $C_{сб}$, соответствующими фоновому уровню. Отмечено несколько небольших отрицательных аномалий, три из которых непосредственно приурочены к телу основной части свалки.

Анализируя динамику трансформации положительных аномалий в сторону их сокращения в период с 1993 по 1999 гг., можно прийти к выводу, что свалка Либенвальде относится к «самоорганизующимся» системам и поэтому не представляет опасности для окружающей среды. Это обусловлено как природными факторами (в первую очередь, литологическим составом пород, обеспечивающим высокую их водопроницаемость), так и бытовыми (консервация свалки). Пример свалки Либенвальде чрезвычайно важен для подтверждения необходимости осуществления мониторинга подобных объектов.

Районирование территорий, подверженных загрязнению нефтепродуктами (Татарстан)

Увеличение добычи нефти, ее транспортировки и переработки усиливает опасность загрязнения окружающей среды углеводородами. Поэтому весьма актуальной является задача ранжирования территорий по степени загрязнения углеводородами.

Предлагаемый нами метод открывает широкие возможности для оценки загрязненности среды нефтепродуктами. Основой для подобного заключения являются многочисленные исследования, выявившие тесную связь между содержанием СБ, контролирующего численность микроорганизмов, потребляющих углеводороды, и интенсивностью и длительностью загрязнения (**рис. 12**).

Рязанова М.С., Хаустов В.В., Мартынова М.А. Поисковый и экологический аспекты
применения метода биогеохимической индикации

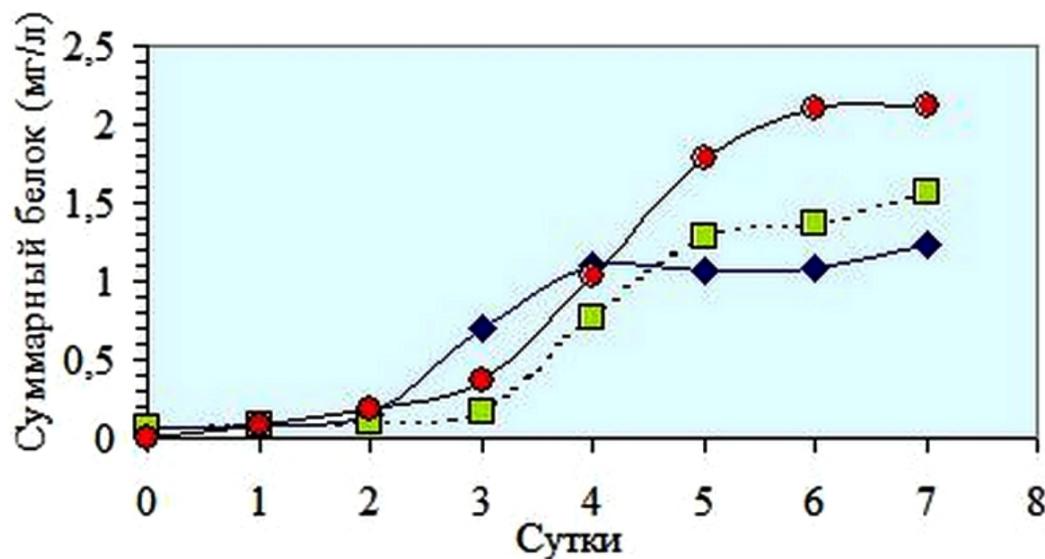


Рис. 12. Динамика накопления суммарного белка (СБ) на среде с сырой нефтью.

Ниже приводится пример районирования территории, подверженной влиянию загрязнения нефтепродуктами (рис. 13).

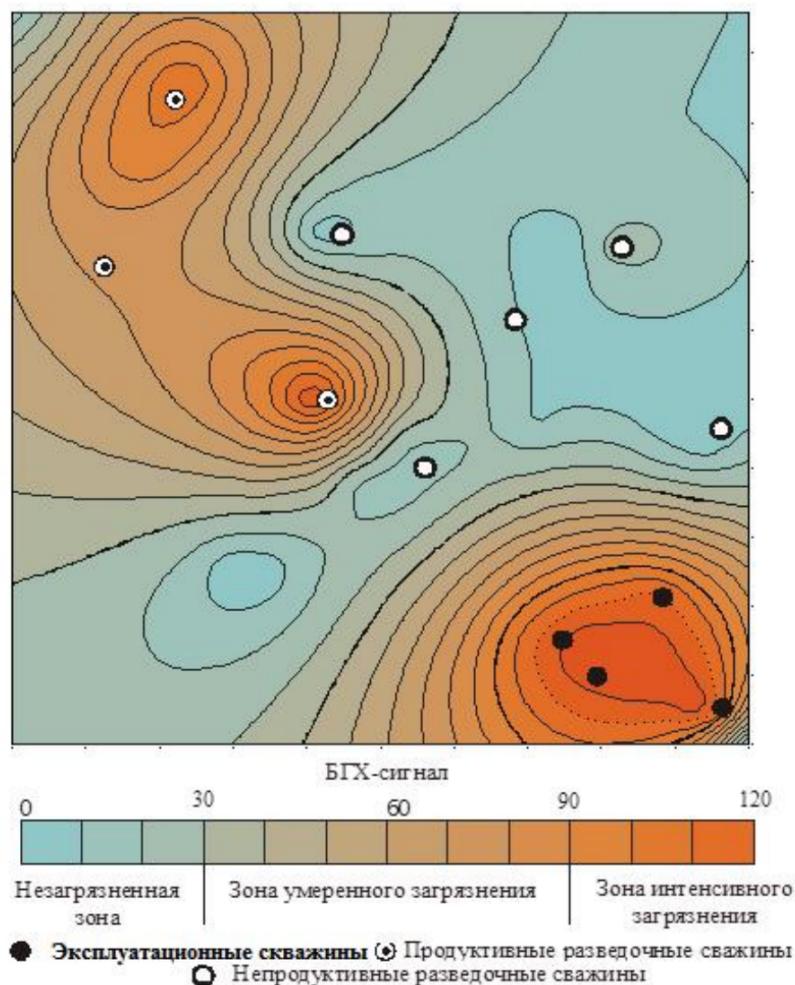


Рис. 13. Экологическое районирование территорий, загрязненных нефтепродуктами.

В результате площадной съемки было выявлено, что территория может быть дифференцирована на области, различающиеся по интенсивности сигнала (отражающего концентрацию суммарного белка). По интенсивности загрязнения выделены градации: **1** — зона интенсивного загрязнения; **2** — зона умеренного загрязнения; **3** — незагрязненная зона.

Так, в зонах, приуроченных непосредственно к эксплуатационным скважинам на действующих нефтяных месторождениях интенсивность сигнала для образцов поверхностной толщи достигает максимума и колеблется от 90 до 120.

По мере удаления от скважины формируется зона умеренного загрязнения, где значения сигнала снижаются от 90 до 40. Подобные значения сигнала характерны также для зоны, прилегающей к скважинам, где эксплуатация месторождений еще не осуществлялась. На остальной площади, а также в зоне расположения непродуктивных скважин, значение сигнала составляют величины менее 40.

Таким образом, приведенные примеры использования метода биогеохимического тестирования пород, на наш взгляд достаточно ярко, иллюстрируют новый подход к решению разнообразных экологических проблем и демонстрируют его высокую информативность и эффективность в деле решения природоохранных задач.

Влияние разработки полиметаллического месторождения на водную экосистему

В последние десятилетия повсеместно возрос интерес к тяжелым металлам как загрязнителям окружающей среды — атмосферы, подземных и поверхностных вод, почвенного покрова и пр. В отличие от органических загрязняющих веществ, подверженных той или иной степени деструкции, тяжелые металлы не способны к подобным превращениям, они только перераспределяются между отдельными компонентами водных экосистем — водой, взвешенным веществом, донными отложениями и биотой и поэтому их следует рассматривать как постоянно присутствующие в экосистемах [Линник 1986].

Рязанова М.С., Хаустов В.В., Мартынова М.А. Поисковый и экологический аспекты применения метода биогеохимической индикации

В этой связи также актуальна тема выбора наиболее информативных индикаторов в оценке масштабов техногенеза. Возникает необходимость изучения геохимических условий миграции поллютантов и их роли в функционировании природных экосистем, обусловленная растущим техногенным воздействием, прежде всего при разработке крупных месторождений полезных ископаемых. Особенно активно процессы техногенеза горнопромышленного профиля протекают в районах эксплуатации месторождений в условиях резкорасчлененного горного рельефа с образованием масштабных ореолов техногенного рассеяния типоморфных элементов.

Горнодобывающие предприятия относятся к числу наиболее мощных загрязнителей природы тяжелыми металлами и Тырныаузский вольфрам-молибденовый комбинат (далее ТВМК) не является в этом отношении исключением. Об этом свидетельствуют техногенные аномалии, установленные в подземных и поверхностных водах, донных отложениях, почвах, охватывающие весьма протяженные участки долины реки Баксан.

Как известно, миграция вещества, в том числе и загрязнителей, в речных водах осуществляется как в растворенном, так и во взвешенном состоянии. Традиционно о качестве водной среды, загрязненной тяжелыми металлами, судили, главным образом, на основе сопоставления показателей валового их содержания с величинами ПДК. Однако, как показали исследования, такая оценка малообоснованна, а показатели валового содержания тяжелых металлов непригодны для этих целей, так как

«... их биологическая активность и химическая реакционная способность в природных водах определяется, в значительной мере, их состоянием — всей совокупностью сосуществующих физических и химических их форм» [Линник, Набиванец 1986, с. 123].

При этом наибольшей токсичностью для гидробионтов отличаются несвязанные в комплексы акваионы тяжелых металлов и некоторые гидрокомплексы, вследствие определенных способностей проникновения через клеточную мембрану [Luoma 1983; и др.]. Корректная оценка уровня токсичности водной среды, определяемой соединениями тяжелых металлов, возможна лишь на основе данных о содержании в исследуемой воде не связанных в комплексы их акваионов. В наших исследованиях использовались результаты определения концентраций свободных ионов в речных водах, полученные колориметрическими методами, наиболее пригодными для этих целей.

Статистические параметры распределения микрокомпонентов в современных донных отложениях р. Баксан приведены в **таблице 2**. Выяснилось, что распределение величин типоморфных элементов месторождения Тырныауз весьма удовлетворительно согласуется с нормальным законом распределения. Отклонения оценки асимметрии от нуля в положительную сторону для молибдена, олова, хрома, висмута, циркония свидетельствуют о наличии аномально высоких концентраций перечисленных элементов в выборке. Распределение рудогенных элементов отличается более заметными вариациями, что является характерной чертой антропогенного потока рассеяния.

Таблица 2

Статистические параметры распределения микрокомпонентов в современных донных отложениях реки Баксан (32 пробы)

№ Пп.	Металлы	Минимум	Максимум мкг/г	Среднее	Стандартное отклонение	Вариация	Асимметрия	Эксцесс
1	W	1	800	334,43	294,42	0,881	0,726	-1,216
2	Mo	5	500	120,31	131,64	0,094	1,671	2,030
3	Pb	20	150	87,50	32,96	0,376	0,143	-0,069
4	Mn	200	1500	728,12	337,62	0,463	0,468	-0,610
5	Sn	5	35	12,00	7,91	0,659	1,489	1,724
6	Ti	1500	5000	3000,00	1224,74	0,408	0,484	-1,322
7	Cu	5	150	66,87	36,46	0,545	0,472	-0,497
8	Zn	20	150	67,81	37,01	0,545	0,379	-0,761
9	Cr	20	150	55,00	35,26	0,641	1,312	0,800
10	Be	1	3	1,87	0,80	0,751	0,201	-1,531
11	Sc	2	20	8,31	6,24	0,385	0,670	-1,018
12	Bi	1	35	6,31	8,74	0,423	2,169	4,362
13	Ni	10	50	26,87	11,38	0,899	0,136	-1,102
14	Zr	80	2000	592,50	532,88	0,285	1,236	0,782
15	Sr	350	800	575,00	164,31	0,295	0,427	-1,437
16	Ba	50	200	134,37	39,66	0,363	-0,208	-0,594
17	"СБ"	7	94	52,62	19,14	0,429	-0,131	0,767

Примечание: СБ — суммарный белок.

Тесная установленная корреляционная связь (**табл. 3**) свидетельствует о парагенности накопления типоморфных элементов – молибдена, вольфрама, олова, мели, висмута, свинца, хрома и еще раз подтверждает, что степень разделения этих элементов в донных отложениях невелика. Распределение указанных элементов по течению реки отличается высокой согласованностью и какой—либо резкой дифференциации их ассоциаций не наблюдается.

Рязанова М.С., Хаустов В.В., Мартынова М.А. Поисковый и экологический аспекты
применения метода биогеохимической индикации

Таблица 3

Корреляционная матрица содержания химических элементов
в донных отложениях реки Баксан (32 пробы)

№ Пп.	Элементы	СБ	W	Mo	Pb	Mn	Sn	Ti	Cu	Zn	Cr	Be	Sc	Bi	Ni	Zr	Sr	Ba
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	СБ	100																
2	W	47	100															
3	Mo	37	43	100														
4	Pb	12	53	65	100													
5	Mn	9	41	64	25	100												
6	Sn	33	51	86	71	64	100											
7	Ti	2	66	10	27	22	21	100										
8	Cu	53	62	50	43	44	53	25	100									
9	Zn	6	38	39	46	39	45	38	64	100								
10	Cr	56	56	14	-8	51	32	38	42	20	100							
11	Be	26	-7	-5	11	-56	-19	-16	-2	1	3	100						
12	Sc	8	16	0	-6	-13	-3	41	-27	-30	8	-21	100					
13	Bi	62	59	44	33	53	62	19	65	39	80	19	-20	100				
14	Ni	21	49	70	59	65	74	23	35	65	39	0	-14	58	100			
15	Zr	21	51	15	4	11	14	77	0	-11	33	-30	67	5	0	100		
16	Sr	25	30	56	46	19	43	34	8	-6	6	-15	55	10	16	57	100	
17	Ba	29	32	-22	22	-28	11	24	7	-18	25	24	41	29	-18	24	19	100

Примечание: для удобства коэффициенты корреляции умножены на 100.

Ассоциации химических элементов донных отложений и их концентрации свидетельствуют о том, что потоки рассеяния в современных осадочных образованиях р. Баксан имеют значительные размеры и высокое содержание широкой группы элементов с резко варьирующими распределениями по профилю. Образованные интенсивные зоны загрязнения в донных отложениях р. Баксан могут сохраняться довольно долгое время (десятки и сотни лет) и являться потенциально опасным источником вторичного загрязнения водной среды [Хаустов 1990].

Изменения микрокомпонентного состава речных вод Баксана приведены на рис. 14.



Рис 14. Распределение типоморфных элементов месторождения Тырнауз в различных компонентах водной экосистемы р. Баксан.

**Рязанова М.С., Хаустов В.В., Мартынова М.А. Поисковый и экологический аспекты
применения метода биогеохимической индикации**

Как нетрудно заметить, природная ассоциация элементов и их соотношения претерпевают резкую деформацию в районе месторождения (створ I), когда в речные воды поступают продукты выщелачивания отвалов пустых пород, дренажные воды месторождения [Хаустов, Дубяга 2012]. В этом створе концентрации молибдена и мышьяка превышают ПДК для питьевых вод. Наибольшее загрязнение речных вод тяжелыми металлами фиксируется в районе расположения основного хвостохранилища ТВМК (15 км ниже месторождения по течению р. Баксан, створ II), что говорит о максимальном вкладе сбрасываемых осветленных вод хвостохранилища в общее загрязнение реки. Там уже три элемента — молибден, вольфрам и мышьяк — превышают, а сурьма находится на уровне ПДК_в. Этот створ фиксирует общий привнос рудогенных элементов различными объектами ТВМК и показывает, что типоморфные элементы Тырнаузского месторождения превышают ПДК_в в речных водах.

Ниже по течению в районе интенсивного подпитывания реки подземными, преимущественно карстовыми водами (створ III) и далее в районе интенсивного разбора речных вод на орошение сельскохозяйственных угодий (40 км ниже месторождения, створ IV), вследствие разбавления существенно снизилась концентрация многих исследуемых микрокомпонентов, лишь вольфрам находится на уровне ПДК_в. Створ V (60 км ниже месторождения) расположен в месте выхода реки Баксан на равнинную местность, следовательно, в месте смены гидрологического режима водотока. Здесь концентрации и соотношения исследуемых рудогенных металлов близки к природным (фоновым). Однако в плане общей тенденции к уменьшению концентраций тяжелых металлов резко увеличивается содержание молибдена. В данном случае, при явном отсутствии других каких-либо реальных источников молибдена, поставщиком его являются донные отложения реки (десорбция), то есть происходит вторичное загрязнение водной среды — явление, широко обсуждаемое в специальной литературе [Мур, Рамамурти 1987 и др.].

В целях выяснения биогеохимических реакций живых организмов на загрязнение реки были выбраны микроорганизмы донных отложений. Для анализа белка в донных отложениях применен метод Нижарадзе — Пушновой, в основе которого лежит реакция Бредфорда [Нижарадзе, Пушнова 1988].

Установлено, что распределение СБ стабильно коррелирует с распределением ряда тяжелых металлов — W, Mo, As, Pb, Sb и др. (материалы трехлетних наблюдений). Более того, между этими показателями установлена устойчивая положительная корреляционная зависимость: СБ/Mo — 0,89, СБ/W — 0,66.

Вероятным объяснением установленной пространственной взаимосвязи СБ и тяжелых металлов является то, что обладающие высокой электроотрицательностью тяжелые металлы имеют сродство к функциональным группам белков, которые эти металлы блокируют с образованием комплексных соединений хелатного типа. Образование прочных соединений тяжелых металлов с полярными группами белков искажает систему водородных и ионных связей нативной белковой молекулы, то есть вызывает денатурацию белка [Нижарадзе, Томилин, Лаздовская 1992]. Последнее же связано с утратой биологической активности, разрушением гидратных оболочек, уменьшением растворимости, то есть способствует аккумуляции белка в донных отложениях реки.

Таким образом, накопление белка в донных осадках р. Баксан вызвано токсификацией водных микроорганизмов тяжелыми металлами, связыванием белка погибших клеток с ионами металлов в комплексы хелатного типа, и аккумуляцией последних в донных отложениях реки. При этом важно понимать, что хелаты представляют особую экологическую опасность, поскольку отличаются от других форм способностью к быстрой геохимической трансформации под воздействием внешних факторов, в результате чего могут образовываться новые соединения, характеризующиеся иногда большей токсичностью, чем исходные вещества. Установленная взаимосвязь пространственного распределения концентраций белка и токсикантов, а также раскрытие механизма их накопления в донных отложениях, позволили определить спектр загрязняющих веществ, на поступление которых экосистема реки Баксан имеет выраженную отрицательную реакцию.

Положительная корреляционная зависимость между распределением СБ и тяжелыми металлами позволили описать их взаимоотношения уравнениями линейной регрессии:

$$\begin{aligned} \text{СБ} &= 0,03\text{W} + 42,26; \\ \text{СБ} &= 0,05\text{Mo} + 46,03; \\ \text{СБ} &= 0,28\text{Cu} + 33,71; \\ \text{СБ} &= 0,31\text{Cr} + 35,66; \\ \text{СБ} &= 0,36\text{V} + 31,27. \end{aligned} \tag{4}$$

В заключение следует также отметить, что подобные уравнения открывают перспективы использования СБ как интегрального показателя загрязнения донных отложений водотоков в широком диапазоне природно-ландшафтных условий [Хаустов, Хаустова 1995]. Данный пример доказывает эффективность применения белкового метода и демонстрирует его преимущества — экспрессность и экономичность (анализ проб на содержание СБ дешевле на 50—70% традиционных анализов химических и микробиологических, а его использование в 3—4 раза повышает производительность труда работника лаборатории). Выяснение же форм накопления белка в донных отложениях р. Баксан позволит существенно снизить погрешность определения тяжелых металлов с помощью интегрального показателя — СБ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Верзилин Н.Н., Нижарадзе Т.Н., Гонтарев Е.А., Лаздовская М.А. Методика и результаты определения содержания суммарного белка в колонках донных осадков // Современные методы морских геоло-

**Рязанова М.С., Хаустов В.В., Мартынова М.А. Поисковый и экологический аспекты
применения метода биогеохимической индикации**

- гических исследований: Тезисы докладов III Всесоюзной школы по морской геологии. Калининград: изд-во Ин-та океанологии АН СССР, 1991. С. 140–141.
2. Кнатько В.М., Нижарадзе Т.Н., Пушнова Е.А., Трибулкина М.А. Влияние микроорганизмов на пластичность грунтов // Вестник Ленинградского университета. Сер. 7. 1987. № 7. С. 23–27.
 3. Леворсен А. Геология нефти и газа. М.: Мир, 1970. 640 с. (Серия «Науки о Земле». Т. 22).
 4. Линник П.Н., Набиванец Ю.Б. Формы миграции металлов в пресных поверхностных водах. Л.: Гидрометеоздат, 1986. 271 с.
 5. Мур Дж. В., Рамамурти С. Тяжелые металлы в природных водах. М.: Мир, 1987. 285 с.
 6. Муслимов Р.Х., Нижарадзе Т.Н., Назипов А.К., Кобряков В.И., Шакиров А.Н., Билялов Н.Г., Рязанова М.С., Кобряков Д.В. Способ поиска и прогноза продуктивности углеводородных залежей и месторождений. Патент № 2156483. Российская Федерация, 2000.
 7. Муслимов Р.Х., Нижарадзе Т.Н., Рязанова М.С., Кобряков В.И., Назипов А.К., Шакиров А.Н. Первый в мире производственный опыт по применению нового вида геологоразведочных работ на нефть – метода биогеохимического тестирования скважин для оценки продуктивности перспективных объектов в Республике Татарстан // Доклады конференции «Нефтегазовая геология на рубеже веков. Прогноз, поиски, разведка и освоение месторождений». Т. 2. СПб.: ВНИИГРИ, 1999. С. 285–290.
 8. Нижарадзе Т.Н., Моравецка Б., Ларионов А.К., Шпонарь А. Биохимические модели оглеенных глин. Вроцлав: изд-во Вроцлавского ун-та, 1991. 291 с.
 9. Нижарадзе Т.Н., Пушнова Е.А. Способ определения степени оглеенности пород // Патент № 01404940. Российская Федерация, 1988.
 10. Нижарадзе Т.Н., Рязанова М.С. Способ поисков залежей углеводородов // Патент № 2039369. Российская Федерация, 1995.а.
 11. Нижарадзе Т.Н., Рязанова М.С. Способ поисков залежей углеводородов // Патент № 95110614. Российская Федерация, 1995.б.
 12. Нижарадзе Т.Н., Томилин А.М., Лаздовская М.А. Экспресс-экспертиза нарушений экологического равновесия в грунтах и водах // Геохимические методы в экологических исследованиях. М.: ИМГРЭ, 1992. С. 35–41.
 13. Нижарадзе Т.Н., Томилин А.М., Лаздовская М.А., Михайленко Р.Р. Биохимические исследования донных отложений Невской губы // Актуальные проблемы качества подземных вод. СПб: СПбГУ, 1992. С. 109–113.
 14. Нижарадзе Т.Н., Томилин А.М., Лаздовская М.А., Хаустов В.В. Оценка загрязнения водных объектов по результатам контроля нарушений экологического равновесия // Тезисы докладов 1-го Советско-Американского симпозиума по гидрогеологическим и гидрологическим проблемам охраны окружающей среды. Ленинград – Москва: Изд-во АН СССР, 1990. С. 31–32.
 15. Нижарадзе Т.Н., Томилин А.М., Тукалло А.М. Контроль загрязнения водных объектов по интегральной микробиологической активности // Вестник ЛГУ. Сер. 7. Вып. 3. 1989. № 21. С. 93–97.
 16. Рязанова М.С. К вопросу преобразования геологической среды под влиянием восходящей миграции углеводородов (в связи с нефтепоисковыми задачами) // Нефтегазовая геология. Т. 1. СПб: ВНИИГРИ, 1999. С. 100–105.
 17. Хаустов В.В. Формирование подземных вод вольфрам-молибденового месторождения Тырныауз и вопросы охраны бассейна реки Баксан от загрязнения. Автореф. дисс. ... к. геол.-минер. наук. Л.: Ленинградский горный институт, 1990. 22 с.
 18. Хаустов В.В., Хаустова Т.В. Экономичный метод биоиндикации загрязнения речных донных отложений тяжелыми металлами // Современные экологические проблемы провинции. Тезисы докладов. Курск: Ионор, 1995. С. 253–255.
 19. Хаустов В.В., Дубяга А.П. О влиянии разработки месторождения Тырныауз на водную экосистему реки Баксан (биохимический аспект) // Известия Юго-Западного государственного университета, серия Техника и технологии. 2012. № 2. Ч. 2. С. 228–235.
 20. Luoma S.N. "Bioavailability of Trace Metals to Aquatic Organisms – A Review." *Sci Total Environ* 28.1 (1983): 1–22.
 21. Nijaradze T.N., Riazanova M.S. *The Method of Disclosing Hydrocarbon Deposits*. Patent 93/00193 PCT/RU. 1993.

Цитирование по ГОСТ Р 7.0.11–2011:

Рязанова, М. С., Хаустов, В. В., Мартынова, М. А. Поисковый и экологический аспекты применения метода биогеохимической индикации [Электронный ресурс] / М.С. Рязанова, В.В. Хаустов, М.А. Мартынова // Электронное научное издание Альманах Пространство и Время. — 2016. — Т. 11. — Вып. 1: Система планета Земля. — Стационарный сетевой адрес: 2227-9490e-aprov_r_e-ast11-1.2016.72.

РЯЗАНОВА М.С., ХАУСТОВ В.В., МАРТЫНОВА М.А. ПОИСКОВЫЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ АСПЕКТЫ
ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА БИОГЕОХИМИЧЕСКОЙ ИНДИКАЦИИ

EXPLORATORY AND ENVIRONMENTAL ASPECTS OF THE BIOGEOCHEMICAL INDICATION METHOD

Maria S. Riazanova, M.Sc. (Geology and Mineralogy), post-graduate student at National University of the Mineral Resource 'Mining', St. Petersburg, Russia

E-mail: maria-s-riazanova@j-spacetime.com; riasanova@yandex.ru

Vladimir V. Khaustov, D.Sc. (Geology and Mineralogy), Professor at South-Western State University, Kursk, Russia

E-mail: vladimir-v-khaustov@j-spacetime.com; okech@mail.ru

Marina A. Martynova, Sc.D. (Geology and Mineralogy), Associate Professor, Chief Specialist at Geotest LLC., St. Petersburg, Russia

E-mail: marina-a-martynova@j-spacetime.com; marmaran@mail.ru

Technologies and methods of prospecting and exploration of hydrocarbons, as well as environmental monitoring need to be progressive improvement. Method of biogeochemical indication has no analogues in the world. The results of research are protected by applicable patents.

We have determined analytical characteristics of biogeochemical indication method based on regularities of biogeochemical parameters of spatial distribution in productive and non-productive facilities in prospecting and exploration of hydrocarbon deposit. For our research purposes, we used non-productive and productive wells with the known data of their oil and gas potential and reflecting peculiarities of regional geological structure as reference objects. We identified total (analytical) concentration of high-protein compounds in rocks that make up the microbial cells and products of their metabolism as the main parameter, and we suggested subsidiary as an indicator of rocks sorption activity. In our study, we define correlations between content and microbial bioproduction indicator and sorption activity in various lithological types of rocks.

Statistical analysis of field studies results was a basis for obtaining coefficient to assess prospects or unpromising objects in the presence of hydrocarbon accumulations. A clear evaluation demonstrates compliance prospects of objects by testing the actual data of the oil-bearing sections installed by drilling.

The total protein concentration is an indicator of both ecological state of natural object and its change (an integral characteristic of ecosystem response to pollution). Rigid proportion between protein and biomass microbial communities allows quantifying effect of environmental pollution by changes in the total protein index. Biogeochemical testing method has been successfully tested by us to assess the state of the environment in areas of large industrial and mining production. In our article, we present results of using the method in wide range of natural and landscape conditions.

Thus, we have proved the high efficiency of the presented method biogeochemical indication. The positive results of the studies proposed method of biogeochemical indication may define the feasibility and prospects for its widespread use in the practice of exploration and environmental work.

Keywords: microorganisms, concentration of protein compounds, sorption activity breeds, biogeochemical indication, oil and gas, environmental monitoring, forecasting model.

References:

1. Khaustov V.V. *Formation of Groundwater Tungsten-Molybdenum Deposits of Tyrnyauz and the Protection of the Basin of the River Baksan from Pollution*. Synopsis of Sc.D. diss. Leningrad, 1990, 22 p. (In Russian).
2. Khaustov V.V., Dubyaga A.P. "On the Impact of the Development of the Field of Tyrnyauz in the Aquatic Ecosystem of the River Baksan (Biochemical Aspects)." *Bulletin of South-West State University, Series Engineering and Technologies* 2.2 (2012): 228 – 235. (In Russian).
3. Khaustov V.V., Khaustova T.V. "Cost-Effective Method of Bioindication of Pollution of River Sediments with Heavy Metals." *Modern Ecological Problems of the Province. Abstracts*. Kursk: Ionor Publisher, 1995, pp. 253 – 255. (In Russian).
4. Knatko V.M., Nijaradze T.N., Pushnova E.A., Tribulkina M.A. "Influence of Microorganisms on the Plasticity of Soils." *Bulletin of Leningrad University, Series 77* (1987): 23 – 27. (In Russian).
5. Levorsen A. *Oil and Gas Geology*. Moscow: Mir Publisher, 1970. 640 p. (In Russian).
6. Linnik P.N., Nabivanets Yu.B. *Forms of Migration of Metals in Fresh Surface Waters*. Leningrad: Gidrometeoizdat Publisher, 1986. 271 p. (In Russian).
7. Luoma S.N. "Bioavailability of Trace Metals to Aquatic Organisms – A Review". *Sci Total Environ* 28.1 (1983): 1 – 22.
8. Moore J. V., Ramamurthy S. *Heavy Metals in Natural Waters*. Moscow: Mir Publisher, 1987. 285 p. (In Russian).
9. Muslimov R.Kh., Nijaradze T.N., Riazanova M.S., Kobryakov V.I., Nazipov A.K. Shakirov A.N. "The World's First Production Experiences in the Use of a New Kind of Exploration for Oil – Biogeochemical Method of Testing Wells to Assess the Productivity of Promising Sites in the Republic of Tatarstan". *Oil and Gas*

**РЯЗАНОВА М.С., ХАУСТОВ В.В., МАРТЫНОВА М.А. ПОИСКОВЫЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ АСПЕКТЫ
ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА БИОГЕОХИМИЧЕСКОЙ ИНДИКАЦИИ**

Geology on a Boundary of Centuries. Forecast, Prospecting, Exploration and Exploitation of Deposits. Proceedings of the Conference. St. Petersburg: All-Russian Petroleum Scientific and Research Geological Exploration Institute Publisher, 1999, volume 2, pp. 285 – 290. (In Russian).

10. Muslimov R.Kh., Nizharadze T.N., Nazipov A.K., Kobryakov V.I., Shakirov A.N., Bilyalov N.G., Ryazanova M.S., Kobryakov D.V. *Method for Searching and Forecasting Productivity of Hydrocarbon Reservoirs and Deposits.* Patent 2156483, 2000. (In Russian).
11. Nijaradze T.N., Pushnova E.A. *Method for Determining the Degree of Agaiinote Breeds.* Patent 01404940, 1988. (In Russian).
12. Nijaradze T.N., Riazanova M.S. *Method for Hydrocarbon Deposits Exploration.* Patent 2039369, 1995. (In Russian).
13. Nijaradze T.N., Riazanova M.S. *Method for Hydrocarbon Deposits Exploration.* Patent 95110614, 1995. (In Russian).
14. Nijaradze T.N., Riazanova M.S. *The Method of Disclosing Hydrocarbon Deposits.* Patent 93/00193 PCT/RU. 1993.
15. Nijaradze T.N., Tomilin A.M., Lazdovskaya M.A. "Express Examination of Violations of Ecological Balance in Soils and Waters." *Geochemical Methods in Environmental Studies.* Moscow: Institute for Mineralogy, Geochemistry and Crystal Chemistry of Rare Elements Publisher, 1992, pp. 35 – 41. (In Russian).
16. Nijaradze T.N., Tomilin A.M., Lazdovskaya M.A., Khaustov V.V. "Assessment of Water Pollution according to the Results of Monitoring Violations of Ecological Balance." *Proceedings of the 1st Soviet-American Symposium on Hydrogeological and Hydrological Problems of Environmental Protection.* Leningrad and Moscow: USSR Academy of Sciences Publisher, 1990, pp. 31 – 32. (In Russian).
17. Nijaradze T.N., Tomilin A.M., Lazdovskaya M.A., Mikhaylenko R.R. "Biochemical Studies of Bottom Sediments in Neva Bay." *Actual Problems of Groundwater Quality.* St. Petersburg: St. Petersburg State University Publisher, 1992, pp. 109 – 113. (In Russian).
18. Nijaradze T.N., Tomilin A.M., Tukallo A.M. "Control of Water Pollution by Integral Microbiological Activity". *Bulletin of Leningrad University, Series 7 3.2 (1989):* 93 – 97. (In Russian).
19. Nijharadze T.N., Moravetska B., Larionov A.K., Shponar' A. *Biochemical Models of Gleyed Clays.* Wroclaw: Wroclaw University Publisher, 1991, 291 p. (In Russian).
20. Riazanova M.S. "On the Matter of Transformation of Geological Environment under the Influence of the Upward Migration of Hydrocarbons (In Connection with Oil Exploration Tasks)." *Petroleum Geology.* St. Petersburg: All-Russian Petroleum Scientific and Research Geological Exploration Institute Publisher, 1999, volume 1, pp. 100 – 105. (In Russian).
21. Verzilin N.N., Nijaradze T.N., Gontarev E.A., Lazdovskaya M.A. "Methodology and Results of Determining the Content of Total Protein in Columns of Bottom Sediments." *Modern Methods of Marine Geological Research. Proceedings of Reports at 3rd All-Union School of Marine Geology.* Kaliningrad: Institute of Oceanology Publisher, 1991, pp. 140 – 141. (In Russian).

Cite MLA 7:

Riazanova, M. S., Khaustov, V. V., Martynova, M. A. "Exploratory and Environmental Aspects of the Biogeochemical Indication Method." *Electronic Scientific Edition Almanac Space and Time* 11.1 ('The Earth Planet System') (2016). Web. <2227-9490e-aprovr_e-ast11-1.2016.72>. (In Russian).