

УДК 550.4:551.14

ЛИТОХИМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА

Р.Х. Сунгатуллин

Аннотация

Литохимические параметры отражают сложные процессы осадконакопления, преобразования пород и техногенного воздействия на геологическую среду. На примере востока Русской платформы показано применение литохимических параметров при изучении разных сред. На основе единой компьютерно-математической методики разработаны подходы совместного использования химических данных в системном анализе геологического пространства.

Химическое единство мира,
единство химических элементов
есть научный факт

В.И. Вернадский

Роль осадочных пород и связанных с ними полезных ископаемых в экономике страны определяется их многоцелевым использованием в производстве промышленной и сельскохозяйственной продукции, создании наукоемких технологий, получении конструкционных материалов и др. По некоторым оценкам суммарный объем продукции, производимой на основе нерудных полезных ископаемых, в развитых странах превышает объем металлорудной продукции более чем в 2 раза [1]. В настоящее время для решения прикладных и теоретических задач осадочной геологии требуются новые количественные подходы. Одним из примеров данного направления является широкое использование литохимических параметров для изучения осадочных пород и ассоциирующих с ними полезных ископаемых. Именно литохимия, являясь частью геохимии, исследует валовый химический состав осадочных пород [2]. Литохимическими исследованиями решаются 3 основные задачи: 1) определение условий образования осадочных пород (генетическая задача); 2) выявление аномальных участков, перспективных на поиски полезных ископаемых (поисковая задача); 3) изучение поведения химических элементов при взаимодействии природных геологических и техногенных систем (экологическая задача).

На примере осадочного комплекса территории Республики Татарстан, расположенной на востоке Русской платформы, показана возможность использования систематизированной информации по распределению химических элементов в осадочных породах для решения указанных выше задач. Осадочный чехол состоит из отложений палеозойской, мезозойской и кайнозойской эр

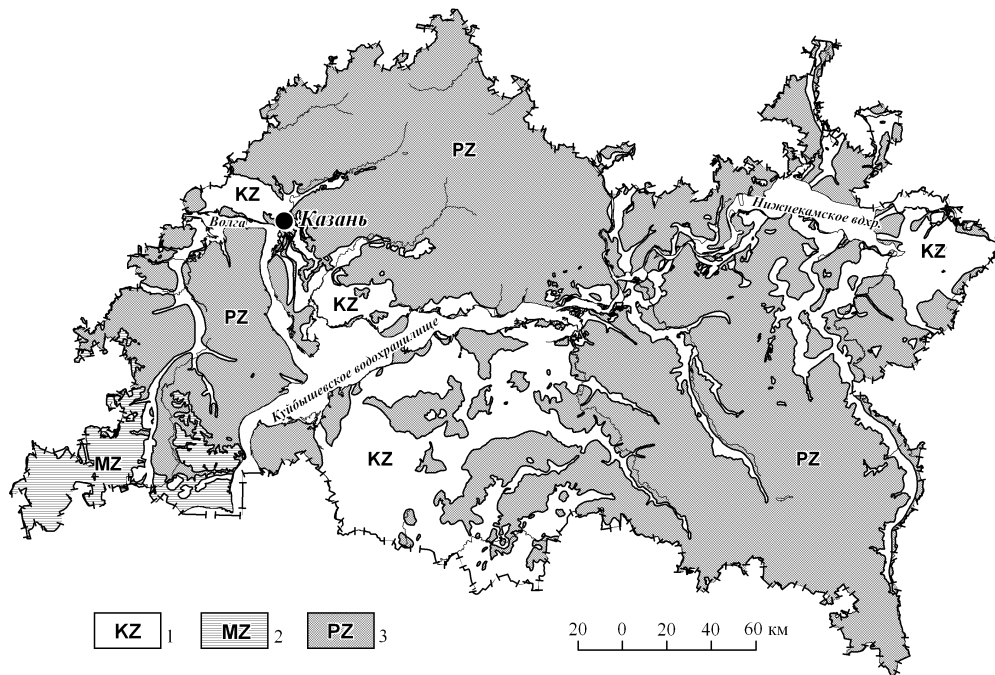


Рис. 1. Геологическая карта Республики Татарстан. Образования: 1 – кайнозойской эры (четвертичная и неогеновая системы), 2 – мезозойской эры (меловая и юрская системы), 3 – палеозойской эры (пермская система)

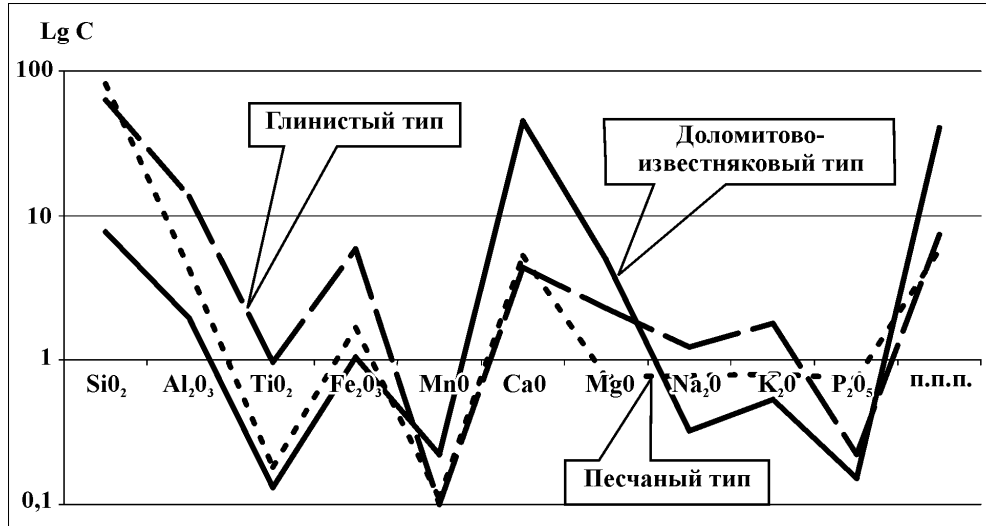


Рис. 2. Средний химический состав месторождений «общераспространенных полезных ископаемых»

Табл. 1

Химический состав месторождений «общераспространенных
полезных ископаемых» в вес. %

Компонент	Тип месторождения, по [4]		
	Доломитово-известняковый	Глинистый	Песчаный
SiO ₂	$\frac{1.14-48.50}{7.72}$	$\frac{4.80-77.75}{63.30}$	$\frac{25.16-98.71}{81.99}$
Al ₂ O ₃	$\frac{0.01-14.02}{1.94}$	$\frac{4.62-23.35}{13.40}$	$\frac{0.31-11.01}{4.22}$
TiO ₂	$\frac{0.02-0.41}{0.13}$	$\frac{0.25-11.99}{0.96}$	$\frac{0.02-0.50}{0.18}$
Fe ₂ O ₃	$\frac{0.06-5.48}{1.04}$	$\frac{2.91-20.66}{5.90}$	$\frac{0.21-6.96}{1.68}$
MnO	$\frac{0.03-0.42}{0.22}$	$\frac{0.07-0.15}{0.10}$	$\frac{0.05-0.22}{0.11}$
CaO	$\frac{11.39-55.16}{45.00}$	$\frac{0.88-24.98}{4.38}$	$\frac{0.05-30.84}{5.27}$
MgO	$\frac{0.14-22.26}{5.02}$	$\frac{0.34-11.93}{2.28}$	$\frac{0.02-2.37}{0.76}$
Na ₂ O	$\frac{0.07-1.72}{0.32}$	$\frac{0.06-2.69}{1.23}$	$\frac{0.02-2.02}{0.78}$
K ₂ O	$\frac{0.1-1.61}{0.53}$	$\frac{0.77-2.37}{1.79}$	$\frac{0.01-2.47}{0.79}$
P ₂ O ₅	$\frac{0.02-0.59}{0.15}$	$\frac{0.12-0.95}{0.22}$	$\frac{0.01-2.31}{0.74}$
п.п.п.	$\frac{14.53-46.83}{40.40}$	$\frac{2.00-14.19}{7.35}$	$\frac{0.17-28.51}{5.79}$

Примечание: в числителе – содержание компонента (от-до); в знаменателе – среднее содержание.

(рис. 1), подверженных интенсивному техногенному воздействию. Объектами литохимических исследований в данной работе явились месторождения «общераспространенных полезных ископаемых» (первичные ореолы рассеяния), песчаная и илистая фракции донных отложений водотоков (потоки рассеяния). Общее количество использованных химических данных составило: по первичным ореолам – более 600 групповых анализов, включающих более 24 000 рядовых анализов, по потокам рассеяния – более 900 анализов. Обработка результатов проводилась с применением комплекса статистических методов: факторный, кластерный, корреляционный и другие анализы. Цифровые карты-модели созданы по оригинальной методике [3].

Согласно классификации месторождений твердых нерудных полезных ископаемых [4], на изученной территории распространены глинистый, доломитово-известняковый (карбонатный) и песчаный типы, отчетливо различающиеся по химическому составу (табл. 1, рис. 2). При рассмотрении геохимических полей кальция по результатам спектральных, химических, рентгено-спектральных анализов установлено их полное совпадение с распространением месторождений известняков (рис. 3). Распределение алюминия и железа в месторожде-

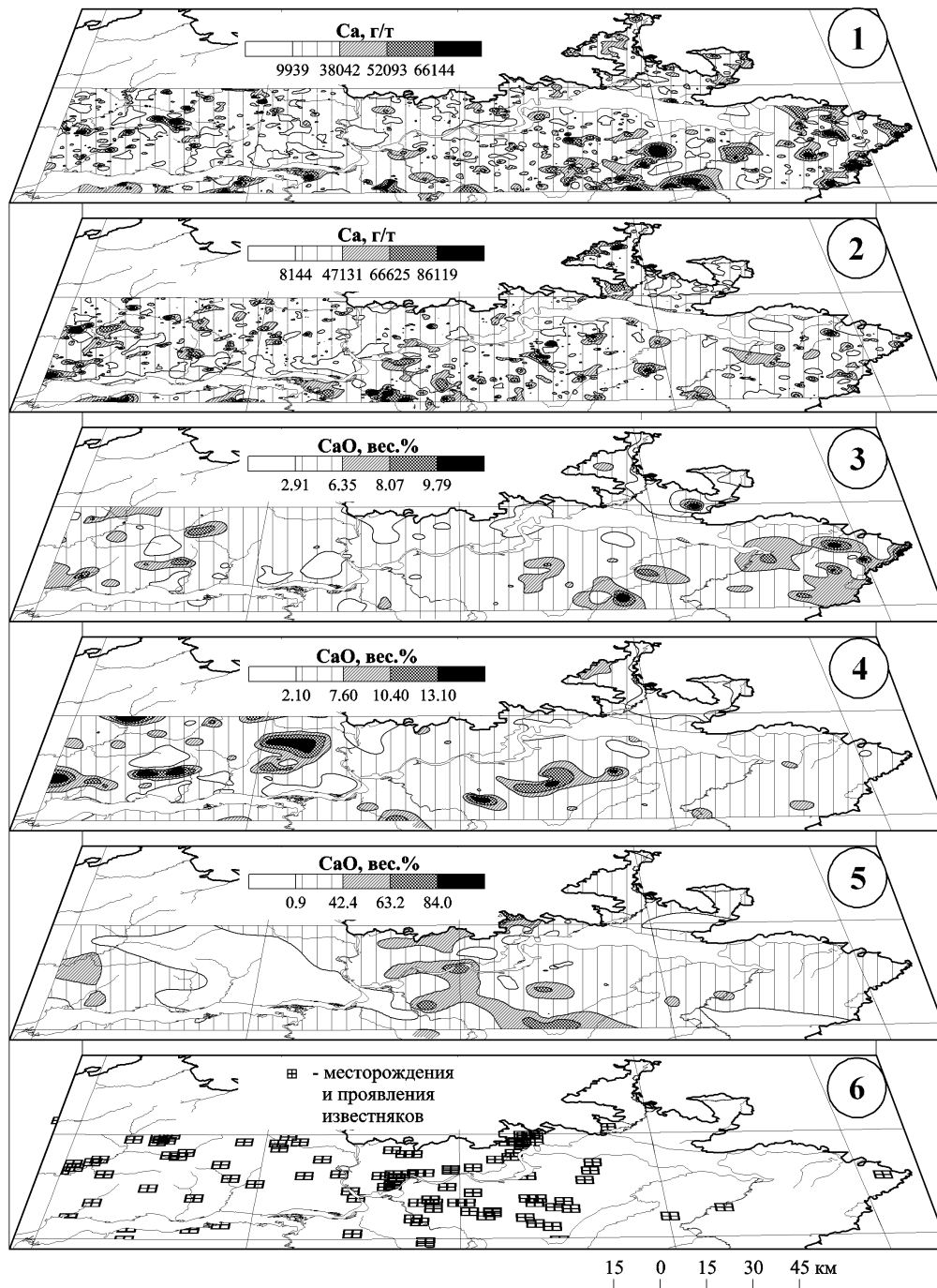


Рис. 3. Карты геохимических полей кальция и месторождения известняков: 1–2 – потоки рассеяния (приближенно–количественный спектральный анализ): 1 – иллитовая фракция; 2 – песчаная фракция; 3–4 – потоки рассеяния (рентгено-спектральный флуоресцентный анализ): 3 – иллитовая фракция; 4 – песчаная фракция; 5 – первичные ореолы (химический анализ); 6 – месторождения известняков

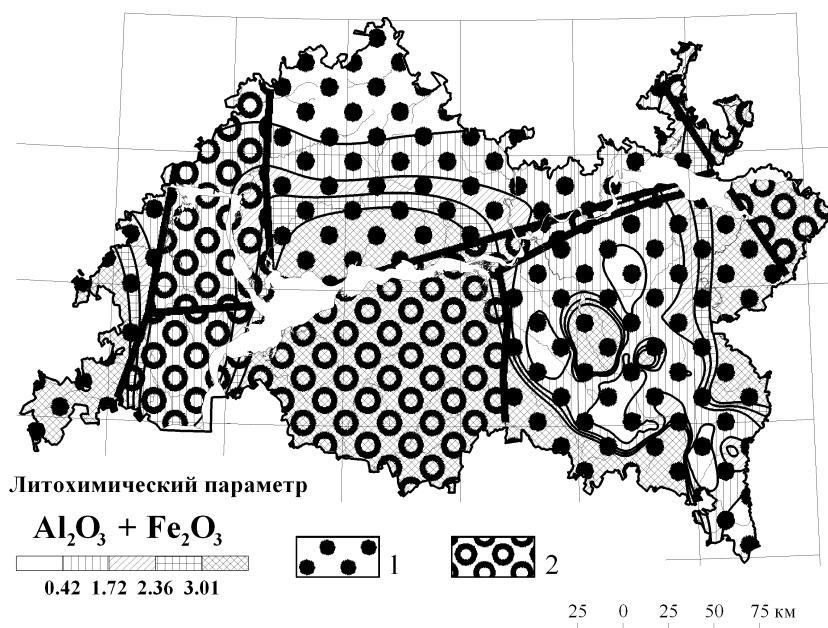


Рис. 4. Распределение полуторных окислов и тектонические структуры: 1 – своды, 2 – впадины

ниях тесно связано с особенностями тектонического строения (рис. 4). Так, впадины характеризуются преимущественным развитием глинистых неогеновых отложений с повышенным содержанием полуторных окислов; на сводах развиты песчаные и карбонатные отложения пермского периода с пониженным содержанием указанных элементов. Распределение гидролизатного модуля указывает на существенное увеличение в осадках терригенной (глинистой) составляющей при движении в восточном (уральском) направлении. В обратном направлении (с востока на запад) происходит повышение карбонатности (доломитистости) разреза казанских отложений, что фиксируется увеличением содержания магния (рис. 5).

Сравнение поведения химических компонентов в месторождениях и донных осадках показывает, что первые характеризуются повышенными содержаниями двуокси кальция и потерь при прокаливании (табл. 2, рис. 6). Остальные элементы накапливаются в потоках рассеяния (преимущественно в илистой фракции), что подтверждает их депонирующую роль в техногеосистемах. Сопряженное опробование донных осадков позволило выявить элементы, концентрирующиеся в песчаной и илистой фракциях. В первой из них повышены содержания кремния, кальция, натрия, во второй – алюминия, титана, железа, марганца, фосфора, магния, калия. По литохимическим параметрам [2] донные отложения относятся к силлитам и сиаллитам. Литохимические модули позволяют отделить северо-восточную (с преимущественным развитием пермских отложений) часть Республики Татарстан от юго-западной (мезозойский комплекс) (рис. 7).

Кластерный и факторный анализы выявили группы элементов, отвечающие условно «карбонатной» (CaO , MgO , MnO , P_2O_5), «глинистой» (Al_2O_3 , TiO_2 ,

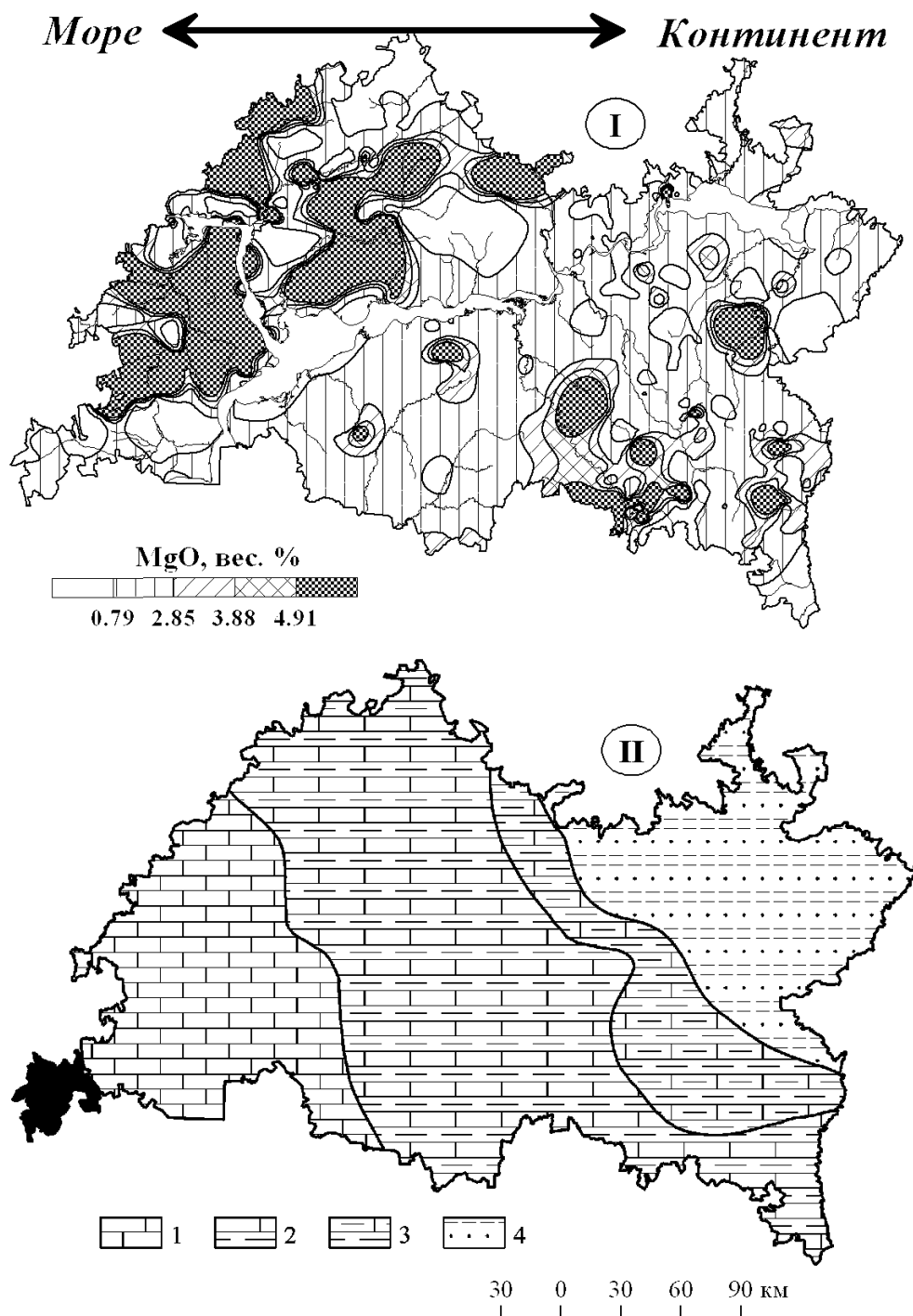


Рис. 5. Поведение магния и литолого-фациальная зональность верхнеказанских отложений: I – содержания MgO в месторождениях «общераспространенных полезных ископаемых», II – карта литолого-фациальной зональности: 1 – морские отложения (доломиты, известняки, гипсы); 2 – прибрежно-морские отложения (доломиты, известняки, глины); 3 – переходные отложения (известняки, глины, песчаники); 4 – континентальные отложения (песчаники, глины)

Табл. 2

Средний химический состав осадочных образований (в вес. %)

Компоненты	Первичные ореолы (месторождения «общераспространенных полезных ископаемых»)	Потоки рассеяния	
		Песчаная фракция	Илистая фракция
SiO ₂	51.99	68.2	63.13
Al ₂ O ₃	9.34	8.9	10.3
TiO ₂	0.64	0.48	0.62
Fe ₂ O ₃	4.45	3.74	4.44
MnO	0.21	0.12	0.15
CaO	21.61	5.08	4.73
MgO	3.17	1.62	1.95
Na ₂ O	0.90	1.57	1.44
K ₂ O	1.24	1.49	1.78
P ₂ O ₅	3.53	0.14	0.16
п.п.п.	19.57	8.53	11.16

Табл. 3

Факторные нагрузки в донных осадках

Компоненты	Факторы		
	«глинистый»	«карбонатный»	«техногенный»
SiO ₂	-0.598	-0.787	0.109
Al ₂ O ₃	0.966	0.064	0.193
TiO ₂	0.893	0.124	-0.178
Fe ₂ O ₃	0.852	0.229	-0.281
MnO	0.385	0.295	-0.527
CaO	-0.022	0.960	0.025
MgO	0.426	0.820	0.001
Na ₂ O	0.507	-0.080	0.702
K ₂ O	0.939	0.140	0.026
P ₂ O ₅	0.359	0.054	-0.789
п.п.п.	0.358	0.817	-0.387
Вес фактора, %	41.3	27.9	15.5

K₂O) и «кварцевой» (SiO₂, Na₂O) составляющим. Анализ факторных нагрузок (табл. 3) позволил создать синтезированные карты-модели (рис. 8), отвечающие за природные и техногенные особенности изученной территории. При экологической интерпретации результатов факторного анализа (табл. 3) выделен «техногенный» параметр донных осадков, основными составляющими которого являются MnO и P₂O₅. Данный факт находит подтверждение в приуроченности аномалий этих компонентов к площадям развития антропогенных объектов. Кроме того, экологическую задачу выполняет модуль нормированной щелочности (Na₂O+K₂O/Al₂O₃), показывающий, например, значительные концентрации натрия и калия в донных осадках, связанные с негативным воздействи-

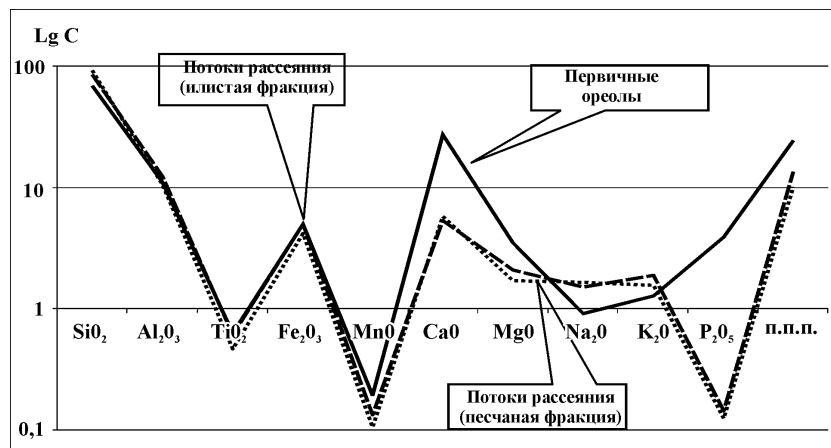


Рис. 6. Средний химический состав осадочных образований

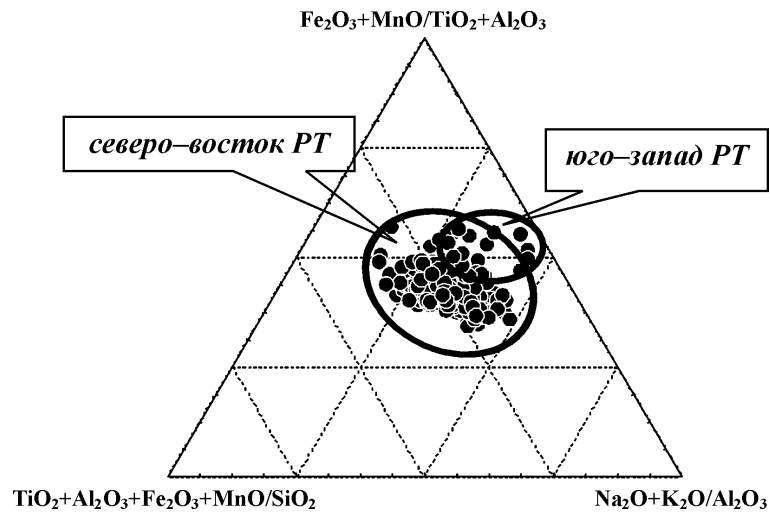


Рис. 7. Диаграмма литохимических параметров донных отложений

ем химического производства на геологическую среду. Обобщающая информация экологического характера представлена на картах «техногенного» фактора (рис. 8). Сопоставление распределения макрокомпонентов с областями развития техногенных объектов показало, что илистая фракция донных осадков, по сравнению с песчаной, более концентрированно выражает антропогенную составляющую. Таким образом, изучение техногеосистемы двумя сопряженными пробами обеспечивает качественную интерпретацию литохимической информации для решения экологических задач.

Приведенные выше данные показывают, что концентрация элементов в геологической среде зависит от многих природных и техногенных факторов, всесторонний учет которых в настоящее время представляется сложной научной проблемой. Для решения последней предлагается использование системного подхода на основе единой компьютерно-математической методики, которая основывается на совместном анализе карт-моделей различных литохимических

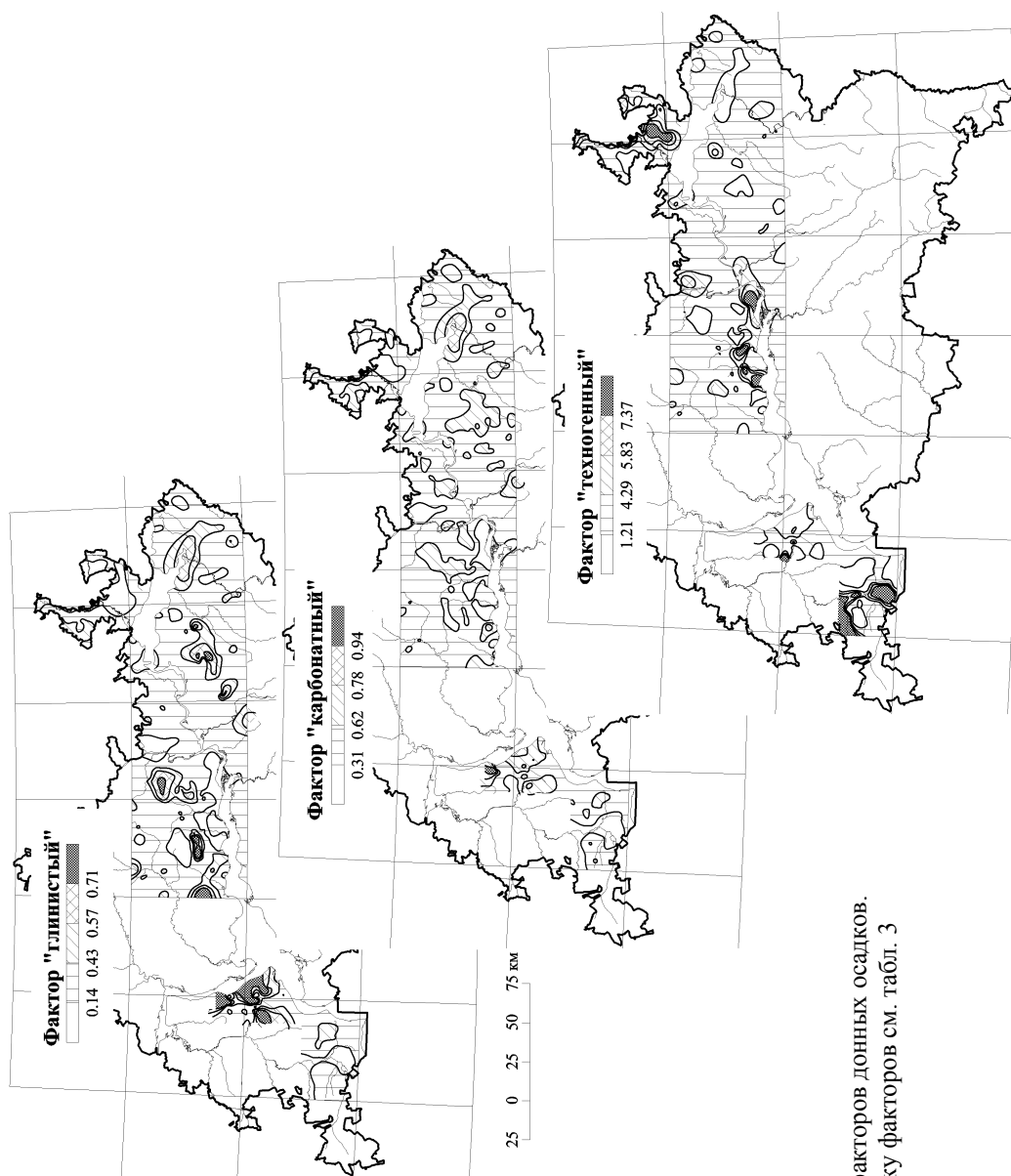


Рис. 8. Карты факторов донных осадков.
Расшифровку факторов см. табл. 3

Табл. 4

Факторные нагрузки в техногеосистеме

Отдельные среды (карты-модели)	Синтезированные факторы		
	«литологический»	«геохимический»	«природно-техногенный»
геологическая	-0.128	0.172	0.692
техногенная нагрузка	0.199	-0.018	0.569
рельеф	0.263	0.244	-0.576
количество месторождений	0.103	-0.005	0.138
литохимическая («глинистый» фактор)	0.776	0.211	0.187
литохимическая («карбонатный» фактор)	0.811	0.006	-0.048
геохимическая («природный» фактор)	0.525	-0.196	-0.115
геохимическая («природно-техногенный» фактор)	-0.135	0.675	-0.046
геохимическая («техногенный» фактор)	0.078	0.803	-0.027
Вес фактора, %	18.8	14.1	13.4

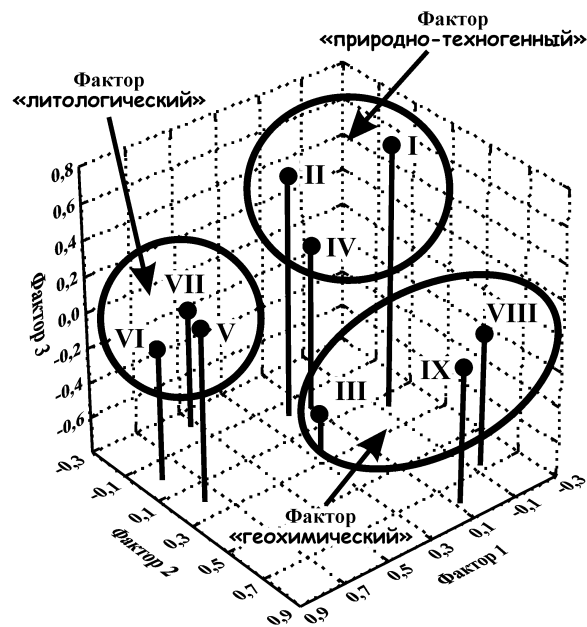


Рис. 9. Факторная диаграмма техногеосистемы. Условные обозначения параметров и расшифровку факторов см. табл. 4

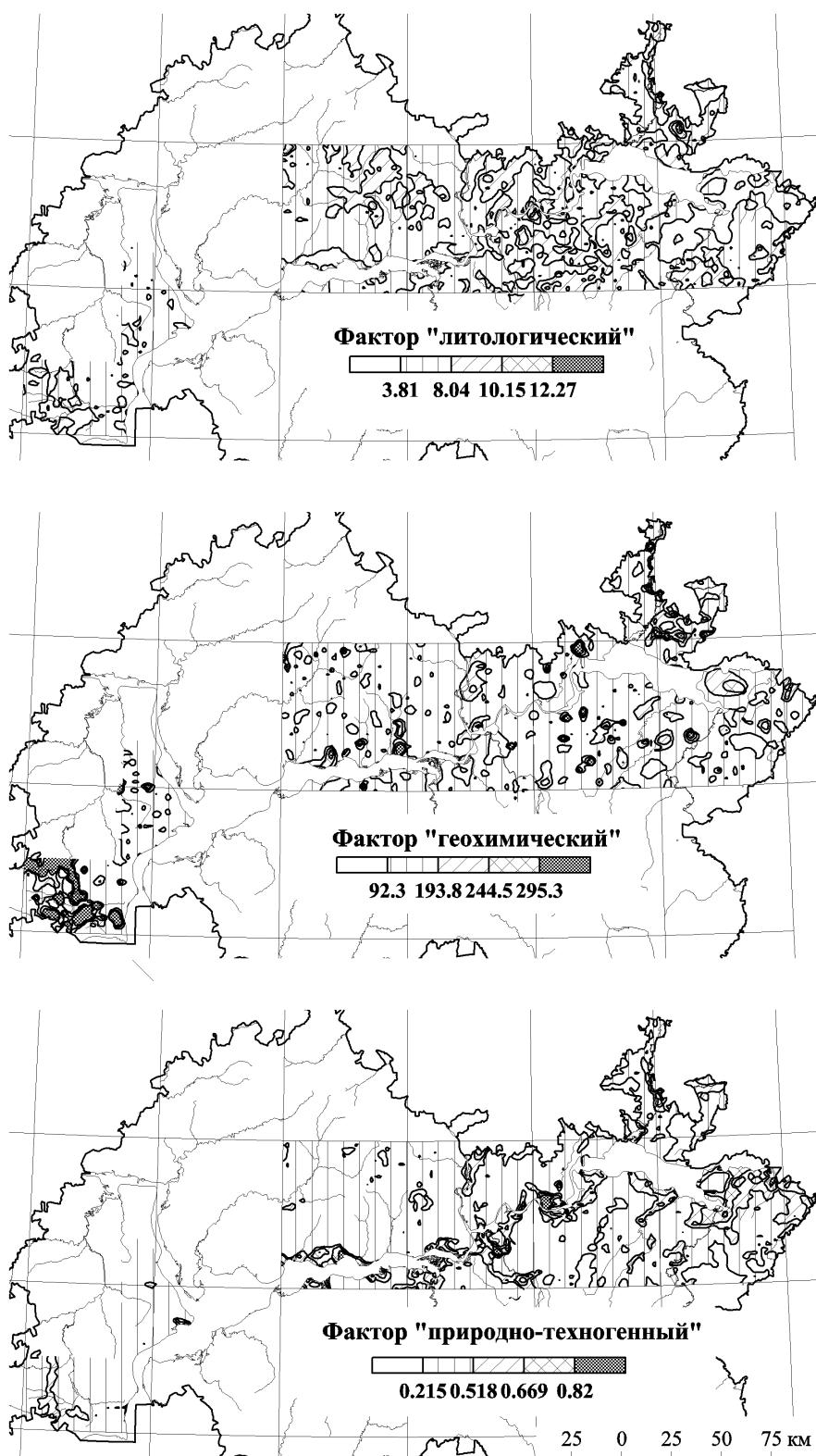


Рис. 10. Карты-модели синтезированных факторов (расшифровку факторов см. табл. 4)

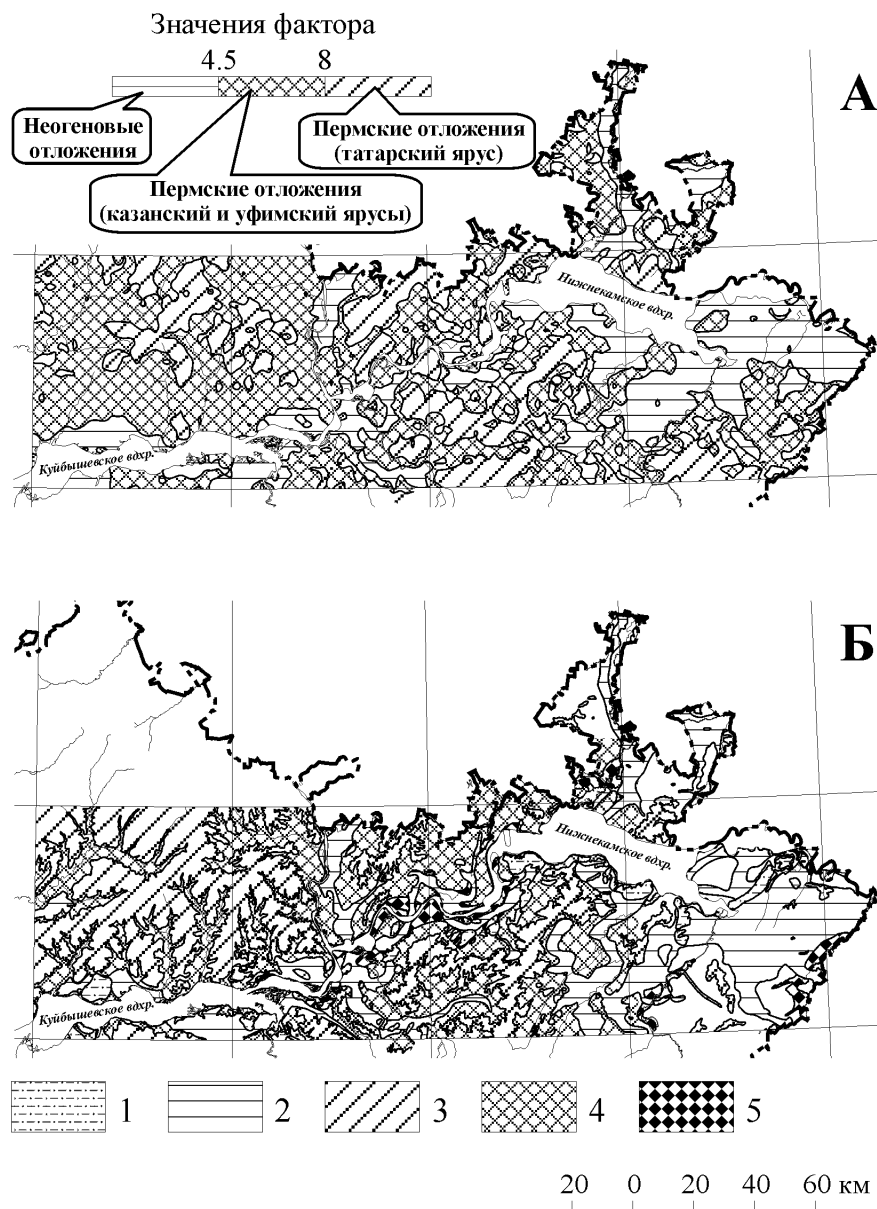


Рис. 11. Синтезированная карта-модель по «литологическому» фактору (А) и геологическая карта (Б) северо-востока Республики Татарстан. Образования: 1 – эоплейстоценового раздела четвертичной системы, 2 – неогеновой системы, 3-5 – пермской системы (3 – татарского, 4 – казанского, 5 – уфимского ярусов)

параметров и факторов, геологического строения, объектов техносферы, других особенностей геоэкологического пространства. Установленные статистические взаимосвязи позволяют найти закономерности поведения разных сред с их последующей геолого-экологической интерпретацией и представлением данной информации в удобном для пользователя виде. Кроме исследования геохимических сред (первичные ореолы и потоки рассеяния химических элемен-

тов), при системном анализе были использованы цифровые данные по геологическому строению, рельефу, геофизическим параметрам, техногенной нагрузке, сведения о месторождениях полезных ископаемых. Совместный статистический анализ общей грид-сетки экологической, геологической, химической и геоморфологической сред позволил выявить «природно-техногенный», «литологический», «геохимический» факторы (табл. 4, рис. 9). На основе этих факторов созданы синтезированные карты-модели (рис. 10). Наряду с хорошей сопоставимостью с традиционными картами (рис. 11), синтезированные карты-модели учитывают весь комплекс информации по анализируемым средам, обладают неограниченной ресурсностью и очень удобны для планирования и проведения поисково-разведочных работ и природоохранных мероприятий в техногеосистемах. Предлагаемая методика объединяет разноуровневые среды через систематизацию количественных и формализацию качественных данных отдельных сред и поэтому может рассматриваться как универсальный инструмент для комплексного анализа геологического пространства. Данный подход, по нашему мнению, позволяет получать информацию совершенно нового уровня с переходом к объемному геолого-экологическому моделированию мониторингового и прогностического характера с привлечением временного аспекта.

ВЫВОДЫ

1. Литохимические параметры отражают сложные процессы осадконакопления, преобразования пород и техногенного воздействия на геологическую среду.
2. Установлены взаимосвязи между различными средами геологического пространства, включая и литохимические особенности.
3. Системный анализ литохимических, геологических, экологических данных на основе единой компьютерно-математической методики позволяет создавать синтезированные карты-модели, пригодные для решения задач реконструкции условий осадкообразования, поисков полезных ископаемых, оценки состояния геоэкологической среды и ее мониторинга.

Summary

R.Kh. Soungatoulline. Lithochemical parameters in the geo-spatial data analysis.

The lithochemical parameters of the rocks depend from complicated processes of origin, transformation and anthropogenic influence. It have been showed case history of geological media investigation using the lithochemical data. Investigation has been based on the constructed mathematical methods of system analysis geological and lithochemical data.

Литература

1. Аксенов Е.М., Ведерников Н.Н. Нерудные полезные ископаемые в XXI в. // Отч. геол. – 2000. – № 8. – С. 4.
2. Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Основы литохимии. – СПб.: Наука, 2000. – 479 с.
3. Сунгатуллин Р.Х. Комплексный анализ геологической среды (на примере Нижнекамской площади). – Казань: Изд-во «Мастер-Лайн», 2001. – 140 с.

4. Методическое руководство по поискам, оценке и разведке месторождений твердых нерудных полезных ископаемых Республики Татарстан (в 3-х частях). Ч. 1. Нормативно-правовые, организационные и геолого-экономические основы проведения геологоразведочных работ / Под ред. Ф.М. Хайретдинова, Р.М. Файзуллина. – Казань: Изд-во КГУ, 1999. – 256 с.

Поступила в редакцию
25.05.05

Сунгатуллин Рафаэль Харисович – кандидат геолого-минералогических наук, старший преподаватель кафедры региональной геологии Казанского государственного университета.

E-mail: *geol@kzn.ru*