

МИНИСТЕРСТВО ГЕОЛОГИИ СССР

ВСЕСОЮЗНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ГЕОЛОГИИ НЕРУДНЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ
(ВНИИгеолнеруд)

ГЕОЛОГИЯ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ
ФОСФОРИТОВ,
МЕТОДИКА
ИХ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ
И ПОИСКОВ

Главный редактор *А. С. Зверев*

Ответственный редактор *А. С. Михайлов*



их прогнозирования и по-
 н-т геологии нерудных по-
 — М.: Недра, 1980 — 247 с.
 осования концентраций фос-
 ности к фосфоритовым руд-
 бассейнов мира, описаны
 ный. Охарактеризованы об-
 месторождений фосфорито-
 являются специфические осо-
 фосфоритовых руд всех
 нных с группой карбонат-
 с группой терригенных
 (Остаточны все проблемы гео-
 месторождений размещения и ме-

Фосфатные руды служат сырьем для производства фосфорных удобрений и элементарного фосфора, неорганических и органических соединений фосфора, получающих все более широкое применение в различных направлениях. Фосфатное сырье начинает расцениваться как важнейшее полезное ископаемое.

Мировая продукция фосфатов в капиталистических странах за десятилетие (1951—1960 гг.) возросла приблизительно в 1,5 раза, а за последующий такой же отрезок времени с 1960 по 1970 г. — почти в два раза. Темпы роста мировой добычи фосфатного сырья в последние 10—20 лет значительно превышают прирост добычи большинства других важнейших полезных ископаемых: каменного угля, железной руды и др. Аналогичная тенденция резкого увеличения добычи и потребления фосфатного сырья наблюдается и в СССР.

По запасам разведанного фосфатного сырья СССР уступает лишь Марокко и США. Эти запасы распределены на территории страны неравномерно: около 40% приходится на комплексные апатитовые руды месторождений Хибинской группы и почти 30% — на фосфоритовые руды бассейна Каратау. Остальная часть представлена бедными желваковыми фосфоритами, технологическая переработка которых на высококонцентрированные удобрения связана с серьезными трудностями, а также фосфоритовыми, апатитовыми и комплексными апатитсодержащими рудами небольших по запасам месторождений других типов.

Постановлением ЦК КПСС и Совета Министров СССР «О мерах по развитию промышленности минеральных удобрений и химических средств защиты растений в 1976—1980 гг.» Министерству геологии СССР вменено в обязанность усилить поисковые и разведочные работы на фосфатное сырье и обеспечить прирост запасов в 10 пятилетке. В «Основных направлениях развития народного хозяйства СССР на 1976—1980 гг.», принятых XXV съездом КПСС, намечалось довести производство минеральных удобрений до 143 млн. т (включая 5 млн. т химических кормовых добавок), ускорить наращивание мощностей по производству фосфатных удобрений и усилить разведку месторождений сырья для производства минеральных удобрений.

Эти задачи должны решаться как путем увеличения объемов поисковых и разведочных работ, так и за счет резкого повышения их эффективности. В настоящее время фонд легко открываемых, выходящих на дневную поверхность месторождений в значитель-

ского института гео-

исследовательский ин-

ковых задач необходимы более эффективные и совершенные методы.

Эффективность геологоразведочных работ может быть повышена, во-первых, путем совершенствования их методики и рационального комплексирования геологических методов исследования с геофизическими и геохимическими, и, во-вторых, за счет научно обоснованного выбора площадей под поиски при опережающем проведении прогнозных и минерагенических исследований. По ориентировочным оценкам прогнозные исследования позволяют уменьшить затраты на поиски и разведку на 10—30%. В дальнейшем, по мере усложнения решаемых поисковыми работами задач, роль прогнозных исследований в повышении эффективности поисковых работ еще более возрастет, и их следует рассматривать как составную часть общего комплекса геологоразведочных работ.

Первые прогнозы на фосфатное сырье, которые реализовались открытием месторождений апатит-нефелиновых руд на Кольском полуострове, были даны еще А. Е. Ферсманом. В середине 50-х годов в ГИГХСе были составлены прогнозные карты на фосфориты Сибирской платформы и Центрального Казахстана. Первая из них основана на палеофациальном анализе осадочных пород, вторая — на использовании в основном литологических, тектонических и стратиграфических критериев.

К настоящему времени организациями Министерства геологии СССР составлены прогнозные карты на фосфатное сырье для ряда районов СССР. Эти карты различаются по методике составления, принципам, положенным в их основу, по степени обоснованности результатов и несопоставимы друг с другом. Большинство из них не удовлетворяет современным требованиям и нуждается в пересоставлении с использованием более совершенной методики и с учетом новых достижений геологической теории и практики геологоразведочных работ.

Во многом аналогичное положение сложилось и с поисковыми работами. Методика поисков месторождений фосфоритов, разработанная под руководством Б. М. Гиммельфарба и изданная 20 лет назад, во многом не отвечает современным требованиям. В изданной в последнее время ГИГХСом работе методика прогнозирования и поисков фосфоритов изложена в сокращенном виде.

Для решения задач по улучшению и расширению сырьевой базы фосфатных руд в настоящее время существенно увеличиваются объемы поисковых работ. Проведение поисков осложняется тем, что изученность территории СССР и многих перспективных районов на фосфатное сырье остается неудовлетворительной. Только некоторые перспективные объекты (Хибинский массив, Каратауский фосфоритоносный бассейн и немногие другие) в той или иной мере изучены по всей площади. Подавляющее большинство перспективных площадей, особенно расположенных в восточных районах СССР, изучено на фосфатное сырье недостаточно. Некоторые из них даже не покрыты полностью геологическими съемками масштаба 1:50 000—1:25 000, а проведенные ранее

съёмочные работы выполнены в основном на площадях без дополнительных и прогнозных исследований. Многие объекты для изучения и поисков

За последние два десятилетия геологических и прогнозных исследований разработаны методы с использованием ЭВМ, которые в настоящее время используются в работе по обоснованности и обоснованности, но, что этот опыт и новейшие методы с успехом использованы при проведении исследований и на фосфатное сырье. Планы существенно углублены и уточнены в отношении образования и закономерности формирования фосфатных руд, являющиеся теоретическими исследованиями. Поэтому при широком применении прогнозных работ на фосфатное сырье достижение их по единой методике исследований на другие полезные ископаемые по заданию Министерства геологии представляется стоящая книга.

Данная работа не является сводом приемов и правил. Она предназначена для выбора в конкретной ситуации применительно к поставленным задачам исследований и методических рекомендаций по решению поставленных задач. Методически целесообразно.

Книга создавалась во ВНИИ коллектива авторов из различных научных институтов (ГИГХС, ИМГРЭ, ЛОПИ и др.), высших учебных заведений, научных учреждений геологических организаций. Книга выдана на широкое обсуждение. Пожелания и замечания специалистов и специалистов в области геологии и геологических наук принимаются к окончательной доработке. Тем не менее, ввиду неопределенности трактовки и неоднозначности трактовки существования различных точек зрения в работе не удалось избежать дискуссий. Многие вопросы, касающиеся: границы и объемы исследований, принятые при описании фосфоритов, положения методики составления карт, по мере накопления новых данных будут уточнены. Авторы с благодарностью относятся к коллегам, направляющим на дальнейшее улучшение работы приняты следующие замечания, которые до настоящего времени

Фосфатные руды служат сырьем для производства фосфорных удобрений и элементарного фосфора, неорганических и органических соединений фосфора, получающих все более широкое применение в различных направлениях. Фосфатное сырье начинает расцениваться как важнейшее полезное ископаемое.

Мировая продукция фосфатов в капиталистических странах за десятилетие (1951—1960 гг.) возросла приблизительно в 1,5 раза, а за последующий такой же отрезок времени с 1960 по 1970 г. — почти в два раза. Темпы роста мировой добычи фосфатного сырья в последние 10—20 лет значительно превышают прирост добычи большинства других важнейших полезных ископаемых: каменного угля, железной руды и др. Аналогичная тенденция резкого увеличения добычи и потребления фосфатного сырья наблюдается и в СССР.

По запасам разведанного фосфатного сырья СССР уступает лишь Марокко и США. Эти запасы распределены на территории страны неравномерно: около 40% приходится на комплексные апатитовые руды месторождений Хибинской группы и почти 30% — на фосфоритовые руды бассейна Каратау. Остальная часть представлена бедными желваковыми фосфоритами, технологическая переработка которых на высококонцентрированные удобрения связана с серьезными трудностями, а также фосфоритовыми, апатитовыми и комплексными апатитсодержащими рудами небольших по запасам месторождений других типов.

Постановлением ЦК КПСС и Совета Министров СССР «О мерах по развитию промышленности минеральных удобрений и химических средств защиты растений в 1976—1980 гг.» Министерству геологии СССР вменено в обязанность усилить поисковые и разведочные работы на фосфатное сырье и обеспечить прирост запасов в 10 пятилетке. В «Основных направлениях развития народного хозяйства СССР на 1976—1980 гг.», принятых XXV съездом КПСС, намечалось довести производство минеральных удобрений до 143 млн. т (включая 5 млн. т химических кормовых добавок), ускорить наращивание мощностей по производству фосфатных удобрений и усилить разведку месторождений сырья для производства минеральных удобрений.

Эти задачи должны решаться как путем увеличения объемов поисковых и разведочных работ, так и за счет резкого повышения их эффективности. В настоящее время фонд легко открываемых, выходящих на дневную поверхность месторождений в значительной степени уже исчерпан, и для решения усложняющихся поис-

на их прогнозирования и по-
д-... геологии нерудных по-
... — М.: Недра, 1980 — 247 с.
... концентраций фос-
... к фосфоритовым ру-
... бассейнов мира, описаны
... Охарактеризованы об-
... месторождений фосфорито-
... специфические осо-
... фосфоритовых руд всех
... с группой карбонат-
... с группой терригенных
... Охарактеризованы все проблемы гео-
... размещения и ме-

...вительского института гео-

ковых задач необходимы более эффективные и совершенные методы.

Эффективность геологоразведочных работ может быть повышена, во-первых, путем совершенствования их методики и рационального комплексирования геологических методов исследования с геофизическими и геохимическими, и, во-вторых, за счет научно обоснованного выбора площадей под поиски при опережающем проведении прогнозных и минерагенических исследований. По ориентировочным оценкам прогнозные исследования позволяют уменьшить затраты на поиски и разведку на 10—30%. В дальнейшем, по мере усложнения решаемых поисковыми работами задач, роль прогнозных исследований в повышении эффективности поисковых работ еще более возрастет, и их следует рассматривать как составную часть общего комплекса геологоразведочных работ.

Первые прогнозы на фосфатное сырье, которые реализовались открытием месторождений апатит-нефелиновых руд на Кольском полуострове, были даны еще А. Е. Ферсманом. В середине 50-х годов в ГИГХСе были составлены прогнозныe карты на фосфориты Сибирской платформы и Центрального Казахстана. Первая из них основана на палеофациальном анализе осадочных пород, вторая — на использовании в основном литологических, тектонических и стратиграфических критериев.

К настоящему времени организациями Министерства геологии СССР составлены прогнозныe карты на фосфатное сырье для ряда районов СССР. Эти карты различаются по методике составления, принципам, положенным в их основу, по степени обоснованности результатов и несопоставимы друг с другом. Большинство из них не удовлетворяет современным требованиям и нуждается в пересоставлении с использованием более совершенной методики и с учетом новых достижений геологической теории и практики геологоразведочных работ.

Во многом аналогичное положение сложилось и с поисковыми работами. Методика поисков месторождений фосфоритов, разработанная под руководством Б. М. Гиммельфарба и изданная 20 лет назад, во многом не отвечает современным требованиям. В изданной в последнее время ГИГХСом работе методика прогнозирования и поисков фосфоритов изложена в сокращенном виде.

Для решения задач по улучшению и расширению сырьевой базы фосфатных руд в настоящее время существенно увеличиваются объемы поисковых работ. Проведение поисков осложняется тем, что изученность территории СССР и многих перспективных районов на фосфатное сырье остается неудовлетворительной. Только некоторые перспективные объекты (Хибинский массив, Каратауский фосфоритоносный бассейн и немногие другие) в той или иной мере изучены по всей площади. Подавляющее большинство перспективных площадей, особенно разведанных в восточных районах СССР, изучено на фосфатное сырье недостаточно. Некоторые из них даже не покрыты полностью геологическими съемками масштаба 1 : 50 000—1 : 25 000, а проведенные ранее

съемочные работы выполнены в основном на неперспективных и полезных ископаемых. Вследствие этого на многих площадях без дополнительных исследований и прогнозных исследований невозможно выявить перспективные объекты для изучения и поиска.

За последние два десятилетия в геологии достигнуты значительные успехи в прогнозировании и поисках полезных ископаемых. Разработаны методики исследований с использованием ЭВМ, повышена достоверность и обоснованность прогнозов, накоплен богатый опыт, но, что этот опыт и возможности не всегда используются с успехом. Необходимо с успехом использовать при проведении исследований и на фазе прогнозирования методы, позволяющие существенно углубить и уточнить представления об образовании и закономерностях формирования фосфатных руд, являющихся объектами прогнозирования. Поэтому при проведении прогнозных работ на фосфатное сырье необходимо обеспечить выполнение их на современном уровне достижений геологической теории и практики исследований на основе использования в основном по заданию Министерства геологии СССР методик, содержащихся в настоящей книге.

Данная работа не охватывает всех особенностей методики приемов и приемов. Она предназначена для выбора и применения в практике исследований и исследований в целях решения поставленных геологических задач.

Книга создавалась в результате совместной работы коллектива авторов из различных институтов (ИИГЭ, ИМГРЭ, ЛОПИ и др.), ведущих геологические исследования на широком обсуждении. Предложения и замечания специалистов и специалистов окончательной доработки. Тем не менее, ввиду сложности и неоднозначности трактовки некоторых вопросов существования различных типов фосфоритов в работе не удалось избежать некоторых неточностей. границы и объемы объектов, принятые при описании фосфоритов, и положения методики составления прогнозов, по мере накопления новых данных будут уточнены. Авторы с благодарностью относятся к тем, кто направленные на дальнейшее развитие работы.

В работе приняты следующие сокращения: в работе по настоящее время

совершенные ме-

жет быть повы-
методики и рацио-
исследования
за счет научно
опережающем
исследований. По
вания позволяют
—30%. В дальней-
работами задач,
эффективности поиско-
рассматривать как
осадочных работ.
реализовались
руд на Кольском
В середине 50-х
карты на фосфорит-
азахстана. Первая
осадочных пород,
геологических, тектони-

Министерства геологии
ное сырье для ряда
методике составления,
и обоснованности
большинство из них
нуждается в перес-
методики и с
и практики гео-

сь и с поисковыми
фосфоритов, разра-
арба и изданная
ным требованиям.
е методика прогно-
сокращенном виде.
ирению сырьевой
ственно увеличива-
исков осложняется
их перспективных
довлетворительной.
ибинский массив,
огие другие) в той
ляющее большин-
оженных в восточ-
рье недостаточно.
геологическими

съёмочные работы выполнены с резкой специализацией на другие полезные ископаемые. Вследствие этого на многих фосфатоносных площадях без дополнительных работ, геологических съёмок и прогнозных исследований невозможно выбрать первоочередные объекты для изучения и поисков.

За последние два десятилетия накоплен большой опыт металлогенических и прогнозных исследований на рудные полезные ископаемые. Разработаны методы количественного прогнозирования с использованием ЭВМ, которые позволяют добиться большей достоверности и обоснованности прогнозных построений. Несомненно, что этот опыт и новейшие методические разработки могут быть с успехом использованы при прогнозных и минерагенических исследованиях и на фосфатное сырье. Кроме того, в последнее время существенно углублены и уточнены наши знания о процессах образования и закономерностях размещения месторождений фосфатных руд, являющиеся теоретической основой прогнозных исследований. Поэтому при широком развертывании поисковых и прогнозных работ на фосфатное сырье возникла острая необходимость выполнения их по единой методике, основанной на последних достижениях геологической науки и с учетом опыта аналогичных исследований на другие полезные ископаемые. В связи с этим по заданию Министерства геологии СССР была подготовлена настоящая книга.

Данная работа не является сводкой обязательных к исполнению приемов и правил. Она имеет целью дать необходимую информацию для выбора в конкретной ситуации изучаемой площади применительно к поставленным задачам оптимального комплекса исследований и методических приемов выполнения работ, т. е. помочь решить поставленные задачи наиболее эффективно и экономически целесообразно.

Книга создавалась во ВНИИгеолнеруде при участии большого коллектива авторов из различных организаций: научно-исследовательских институтов (ГИГХС, СНИИГГиМС, ВНИИЯГГ, ВИРГ, ИМГРЭ, ЛОПИ и др.), высших учебных заведений и производственных геологических организаций. Первый вариант ее был вынесен на широкое обсуждение. Полученные от различных организаций и специалистов замечания в большинстве были учтены при окончательной доработке. Тем не менее, вследствие неопределенности и неоднозначности трактовки ряда геологических понятий и существующих различных точек зрения по некоторым вопросам, в работе не удалось избежать дискуссионных положений. К ним относятся: границы и объемы некоторых фосфоритоносных формаций, принятые при описании фосфоритоносных бассейнов, отдельные положения методики составления прогнозных карт и др. В дальнейшем, по мере накопления новых данных, эти положения должны быть уточнены. Авторы с благодарностью примут все замечания, направленные на дальнейшее улучшение работы.

В работе приняты следующие значения

ГЕОХИМИЯ ФОСФОРА И ПРОЦЕССЫ ОБРАЗОВАНИЯ КОНЦЕНТРАЦИЙ ФОСФАТОВ В ПРИРОДЕ

МИНЕРАЛОГИЯ ФОСФАТОВ И ИХ РАСПРОСТРАНЕНИЕ В ПРИРОДЕ

Фосфор — химический элемент пятой группы периодической системы элементов; его порядковый номер 15, относительная атомная масса 30,974. Фосфор обычно образует ковалентные связи в химических соединениях с координационными числами три или четыре; наиболее распространена четвертая координация. Валентность фосфора изменяется от -3 до $+5$. В большинстве природных обстановок устойчива только его пятивалентная форма.

Пятивалентный фосфор с кислородом образует пятиокись P_2O_5 , которая активно реагирует с водой, образуя кислоты: мета- HPO_3 , орто- H_3PO_4 и пирофосфорную $H_4P_2O_7$. Почти все известные минеральные соединения фосфора в земной коре являются солями ортофосфорной кислоты или ее комплексов. В природе наиболее распространены ортофосфаты кальция, железа, алюминия и в меньшей мере других металлов: меди, свинца, редких земель, лития и др.

Природные ортофосфаты представлены двухзамещенными (кислыми) и трехзамещенными (нормальными или основными) солями. Среди тех и других известны представители как в безводной, так и в водной формах. Из более 150 известных природных минералов фосфора практическое значение имеют главным образом основные ортофосфаты кальция группы апатита: гидроксил-apatит $Ca_5(PO_4)_3OH$, фторапатит $Ca_5(PO_4)_3F$, которые с тем или иным количеством примесей слагают подавляющую часть природных фосфатных руд. Гидроксил-apatит и фторапатит в природных условиях характеризуются разнообразными изоморфными замещениями в катионной и анионной частях. Так, кальций может частично замещаться стронцием, натрием и другими катионами; анион PO_4^{3-} в различных, но обычно в небольших количествах, анионами CO_3^{2-} , SO_4^{2-} , AsO_4^{3-} , вероятно, SiO_4^{4-} и некоторыми другими; OH^- или F^- замещаются Cl^- , CO_3^{2-} и т. д. Фосфатное вещество морских фосфоритов обычно слагается карбонатфторапатитом, в котором часть фосфат-ионов замещена карбонат-ионами, а позиции фтора в кристаллической структуре частично заняты группой OH^- .

Кислые ортофосфаты представлены в основном водными фор-

часть входят кальций, магний и аммоний, реже натрий, железо и марганец. Встречаются они главным образом в зонах окисления в продуктах разложения гуано. К ним относятся такие минералы, как брусит $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, ганнаит $(\text{NH}_4)_2\text{Mg}_3(\text{HPO}_4)_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ и др.

Нормальные фосфаты (около 40 видов) распространены в природе значительно шире, чем кислые. Многие нормальные безводные ортофосфаты в катионной части содержат марганец и железо, часто в комбинации со щелочными и щелочноземельными металлами; литием, натрием, кальцием; иногда — редкие земли, алюминий, кальций, бериллий. Представителями нормальных безводных фосфатов являются монацит и ксепотит. Все эти минералы, за исключением монацита, встречаются в природе редко или очень редко. Монацит — распространенный аксессуарный минерал в кислых магматических породах и гнейсах. Он хорошо сохраняется в коре выветривания и при благоприятных условиях образует россыпные месторождения, из которых извлекается и используется для получения редких земель.

Большая часть природных нормальных фосфатов, которых известно более двадцати, представлена водными формами. Наиболее распространены из них фосфаты железа и алюминия, представителями которых являются вивианит $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ и варицит $\text{Al}(\text{PO}_4) \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Вивианит является обычным минералом восстановительных фаций с кислой средой. При доступе кислорода двухвалентное железо вивианита окисляется и переходит в трехвалентное. Последнее, образуя твердый раствор в вивианите, дает начало ряду соединений переменного состава. Конечным продуктом окисления вивианита служат лимониты с различным содержанием фосфора. Фосфаты железа, наряду с фосфатами кальция, иногда встречаются в осадочных железных рудах прибрежно-морского, озерного, речного и болотного происхождения, в которых содержание P_2O_5 составляет обычно первые проценты и лишь иногда поднимается до 10—15%.

подавляющую часть минеральных видов (более 100) природных фосфатов составляют основные ортофосфаты. Для них характерно большое разнообразие состава как в катионной, так и в анионной частях. Многие из них являются сложными солями, содержащими совместно с фосфат-ионами другие анионы. Группы OH^- часто полностью или частично замещается фтором или хлором. В катионной части безводных основных ортофосфатов могут присутствовать кальций, алюминий, железо, цветные металлы, марганец, редкие земли, литий, реже магний, барий, стронций и другие катионы. Многие из этих минералов содержат несколько различных катионов, например алюминий в ассоциации со щелочными, щелочноземельными и некоторыми другими металлами (амблигонит LiAlPO_4F , бразилианит $\text{NaAl}_3(\text{PO}_4)_2(\text{OH})_4$). Некоторые основные безводные фосфаты представляют собой двойные соли и содержат в анионной части вместе с PO_4^{3-} также AsO_4^{3-} , SiO_4^{4-} , SO_4^{2-} и др.

Кроме фосфатов кальция (выше), на долю которых приходится значительная часть земной коры, минералы, относящиеся к фосфатам, обычно редкие и встречаются в основном в сочетании с пегматитами, изверженными породами, за исключением некоторых изверженных пород, в которых встречаются главным образом пироморфит $\text{Cu}_5(\text{PO}_4)_2(\text{OH})_4$, пироморфит.

Многочисленные (более 60) фосфаты, представляющие собой в основном простые соединения, встречаются совместно с кальцием, магнием, ураном и другими катионами в виде минералов, например вавеллит $\text{Al}_3(\text{PO}_4)_2(\text{OH})_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$. Представителем основных фосфатов служит бирюза $\text{CuAl}_2(\text{PO}_4)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Минералов, связанных с осадочными породами, особенно в зонах окисления сульфидов, встречается много. Они образуют концентрации, известные как фосфориты, известность на фосфор или одновалентный фосфор.

Среди основных водных фосфатов встречаются соединения, так называемые урановые фосфаты, часть урановых слюдок входят в состав минералов, а в анионную часть входят ванадат- и арсенат-ионы. Большинство двойных фосфатов образуют двойные слюды. Примером двойной слюдки является отунит $\text{CaU}_2(\text{PO}_4)_6$. Двойные слюдки могут иметь промышленную ценность. Фосфатов они не представляют интереса.

Фосфор — активный комплексный элемент. Вместе с фосфат-ионами присутствуют в природе комплексные соединения, образуемые комплексными соединениями с бором, молибденом, вольфрамом, другими химическими элементами, например многие урановые фосфаты образуют комплексные соединения.

Часть фосфора находится на поверхности Земли в виде фосфоритов, связанных с жизнедеятельностью растений. Фосфор — один из важнейших элементов питания растений. Фосфор в виде гидроксилапата входит в состав костной ткани позвоночных животных и моллюсков. Фосфор в виде органических соединений содержится в мягких тканях растений и животных. Фосфор обеспечивает энергией мышечные сокращения, участвует в механической энергии мышечных сокращений, в механической энергии мышечных сокращений, в механической энергии мышечных сокращений. Фосфор участвует в образовании нуклеиновых кислот, регуляции биохимических процессов, в регуляции биохимических процессов, в регуляции биохимических процессов. При отмирании организмов фосфор возвращается в почву в виде органических соединений фосфора.

Кроме фосфатов кальция группы апатита (о них сказано выше), на долю которых приходится подавляющая часть фосфора земной коры, минералы, относящиеся к основным безводным фосфатам, обычно редкие и очень редкие. Связаны они главным образом с пегматитами, изверженными и метаморфическими породами, за исключением некоторых фосфатов цветных металлов, образующихся главным образом в зонах окисления (дигидрит $\text{Cu}_5(\text{PO}_4)_2(\text{OH})_4$, пироморфит $\text{Pb}_5(\text{PO}_4)_3\text{Cl}$ и др.).

Многочисленные (более 60 видов) пестрые по составу минералы, представляющие собой основные водные фосфаты, в большей части сложные соединения, содержащие алюминий, железо, нередко совместно с кальцием, магнием, калием, а также цветные металлы, уран и другие катионы. К ним относятся алюмофосфаты — вавеллит $\text{Al}_3(\text{PO}_4)_2(\text{OH})_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ и крандаллит $\text{CaAl}_4(\text{PO}_4)_2(\text{OH})_8 \times \text{H}_2\text{O}$. Представителем основных водных фосфатов цветных металлов служит бирюза $\text{CuAl}_6(\text{PO}_4)_4(\text{OH})_8 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$. Большинство этих минералов связаны с осадочными породами, корами выветривания и зонами окисления сульфидных месторождений. Алюмофосфаты образуют концентрации, имеющие иногда промышленную ценность на фосфор или одновременно на фосфор и алюминий.

Среди основных водных фосфатов обособляется группа сложных соединений, так называемых урановых слюдок. В катионную часть урановых слюдок входят уран, медь, кальций, свинец и другие металлы, а в анионную часть, кроме фосфат-иона, — также ванадат- и арсенат-ионы. Большинство из них представляет собой двойные соли. Примером простых соединений среди урановых слюдок является отунит $\text{CaU}_2(\text{PO}_4)_2\text{O}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$. Урановые слюдки могут иметь промышленную ценность, однако как источник фосфатов они не представляют интереса.

Фосфор — активный комплексообразователь. Если в растворах вместе с фосфат-ионами присутствуют некоторые другие анионы, то легко образуются комплексные соединения типа гетерополикислот. Известны такие комплексные соединения фосфора с кремнием, бором, молибденом, вольфрамом, ураном, ванадием и некоторыми другими химическими элементами. Ряд сложных фосфатов, например многие урановые слюдки, являются представителями комплексных соединений.

Часть фосфора поверхностной оболочки земной коры тесно связана с жизнедеятельностью растительных и животных организмов. Фосфор — один из важнейших биогенных элементов. Минеральный фосфор в виде гидроксилapatита служит основной составной частью костной ткани позвоночных и наружных скелетов некоторых ракообразных и моллюсков. Помимо этого он присутствует в мягких тканях растений и животных. Фосфорсодержащие органические соединения обеспечивают превращение химической энергии в механическую энергию мышечной ткани. Фосфор входит в состав нуклеиновых кислот, регулирующих наследственность и развитие организмов. При отмирании организмов большая часть органических соединений фосфора легко минерализуется.

Среднее содержание фосфора в земной коре (табл. 1) оценивается в 0,093% [Виноградов А. П., 1962].

Фосфор в земной коре находится в следующих основных формах.

1. В составе простых и сложных ортофосфатов, образующих самостоятельные минералы фосфора: преимущественно апатита в магматических и метаморфических породах и микро- или скрытокристаллических фосфатов группы апатита — в осадочных породах. На долю фосфатов кальция группы апатита приходится подавляющая часть всего фосфора, содержащегося в земной коре.

2. В виде изоморфной примеси в алюмосиликатных минералах. Например, в нефелиновом сиените Сыннырского массива с апатитом связана лишь половина фосфора, содержащегося в породе. Остальная часть фосфора входит в состав алюмосиликатных минералов, изоморфно замещая кремний, поскольку размеры ионных радиусов Si^{4+} и P^{5+} , соответственно равные 0,39 и 0,35 А, очень близки между собой.

3. В растворенном виде в природных водах, где фосфор находится в основном в форме ортофосфат-ионов.

4. В сорбированном виде. Наиболее активными сорбентами фосфат-ионов служат гидроокислы железа, в меньшей мере глинистые минералы. В процессах транспортировки, а также при формировании некоторых осадков эта форма может играть заметную роль в балансе фосфора.

Таблица 1

Содержание фосфора в главных типах пород и природных водах

Породы, природные воды	Единица измерения	Среднее содержание фосфора	Источник	
Каменные метеориты	вес. %	0,05	А. П. Виноградов [1962]	
Ультраосновные породы	"	0,017		
Основные породы	"	0,14		
Средние породы	"	0,16		
Кислые породы	"	0,07		
Глины и сланцы	"	0,077		
Песчаники	"	0,08		
Сланцы	"	0,17		К. К. Rankama, F. G. Sahama [1950]
Известняки	"	0,04		
Красная глубоководная глина	"	0,30		
Океаническая вода	мг/л	0,07	Э. Д. Гольдберг [1963]	
Речная вода (реки СССР)	"	0,011—0,071		
Озерные щелочные растворы (озера Натрон, Серлс и др.)	"	До 285		
			О. А. Алекин, Л. В. Бражникова [1964]	
			R. L. Hay [1966]	

5. В составе организмов и значительная часть фосфора захоронится в осадках, вовле...

ПОВЕДЕНИЕ ФОСФОРА И ОБРАЗОВАНИЕ

Концентрации фосфатов различных процессов геологического в поверхностной оболочке выветривание, транспортирование этих продуктов и образование седиментации, диагенез образования и метаморфизм и, наконец, образование интрузивных и этого цикла, в зависимости от фосфор может или рассеивать званием месторождений.

Поведение фосфора при выветривании можно определить как взаимодействие с атмосферой, гидросферой и литосферой, вызывающиеся неравновесными процессами: эрозией, денудацией, разложении, выветривании минералов и пород и формировании продуктов разрушения первичного минерала — вода, кислотность организмов.

Поведение фосфора при выветривании определяется многими факторами, главными из которых можно выделить три группы:

- 1) физико-химические: физико-химические условия в коре выветривания;
- 2) климатические: количество осадков, влажность и др.;
- 3) геолого-геоморфологические: трещиноватость, положение базиса эрозии, определяющие режим выветривания — и др.

Поведение фосфора в процессе выветривания определяется поведением основных макроэлементов: кремнезема, гидролизаты (алюминия, калия, кальция) и др. при выветривании первичных минералов, или идут на построение новых соединений, таким образом определяют состав вод, служащих атмосферными осадками. В очень низкую минерализацию и в

5. В составе организмов или продуктов их жизнедеятельности. Значительная часть фосфора на земной поверхности, прежде чем захорониться в осадках, вовлекается в биологический цикл.

ПОВЕДЕНИЕ ФОСФОРА В ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ И ОБРАЗОВАНИЕ КОНЦЕНТРАЦИЙ ФОСФАТОВ

Концентрации фосфатов могут образовываться в результате различных процессов геохимического цикла вещества, протекающего в поверхностной оболочке земной коры. Этот цикл включает выветривание, транспортировку продуктов выветривания, отложение этих продуктов и образование осадочных пород в бассейнах седиментации, диагенез образовавшихся осадков, их литификацию и метаморфизм и, наконец, эндогенные процессы, приводящие к образованию интрузивных и эффузивных пород. В каждом этапе этого цикла, в зависимости от условий и характера процессов, фосфор может или рассеиваться, или концентрироваться с образованием месторождений.

Поведение фосфора при выветривании горных пород. Выветривание можно определить как изменение пород в условиях контакта их с атмосферой, гидросферой и биосферой, где эти породы оказываются неравновесными. Это изменение выражается в дезинтеграции, разложении, химическом преобразовании и растворении минералов и пород и формировании новых соединений из продуктов разрушения первичного материала. Основные агенты процессов выветривания — вода, кислород воздуха и продукты жизнедеятельности организмов.

Поведение фосфора при выветривании горных пород определяется многими факторами, главные из которых можно объединить в три группы:

1) физико-химические: первичный состав горных пород, физико-химические условия в коре выветривания и др.;

2) климатические: количество и режим осадков, характер растительности и др.;

3) геолого-геоморфологические: структура пород, пористость, трещиноватость, положение базиса эрозии, характер тектонических движений, определяющие режим выветривания — промывной или непромывной — и др.

Поведение фосфора в процессах выветривания контролируется поведением основных макрокомпонентов пород, которые для алюмосиликатов можно разбить на три группы [Педро Ж., 1971]: кремнезем, гидролизаты (алюминий, железо и др.) и катионы оснований (натрий, калий, кальций, магний и др.). Высвобождаясь при выветривании первичных пород, эти макрокомпоненты или выносятся, или идут на построение новообразований — минералов и таким образом определяют геохимический тип коры выветривания.

Основным источником вод, поступающих в зону выветривания, служат атмосферные осадки. Воды атмосферных осадков имеют

Таблица 1

осадочных водах

Источник

Иногородов [1962]

Саката, F. G. Saha-
[1950]

Гальберг [1963]
Лекки, Л. В. Браж-
[1964]
[1966]

лых значений (4—6). Взаимодействие этих вод с горными породами сопровождается гидратацией, растворением, образованием новых минеральных фаз и т. д. При этом соотношение компонентов, перешедших в раствор, и компонентов, выносимых из коры выветривания, обычно отличается от их соотношения в первичной породе.

В кислых средах при $pH < 3,5-4$ разрушение пород происходит достаточно энергично, причем легко выщелачиваются и удаляются из зоны выветривания почти все химические элементы, в том числе алюминий, железо и фосфор. В результате этого в остаточных продуктах сохраняются в основном кварц и часть аморфного кремнезема, а также небольшое количество глинистых минералов (каолинит) и других наиболее устойчивых минералов. Аналогичный эффект — силификацию — вызывают и кислые термальные растворы в областях современного вулканизма. В таких условиях подавляющая часть фосфора горных пород выносится.

При повышении pH промывающих зону выветривания вод от 3—4 до 8—8,5 растворимость кремнезема изменяется сравнительно мало [Го Окамото и др., 1963]; растворимость же алюминия резко уменьшается. Соотношение растворенных алюминия и кремнезема в выщелачивающих горные породы водах при этом изменяется. При возрастании pH наступает такой момент, когда доля кремнезема относительно алюминия в растворе становится больше, чем в породе. В результате этого остаточные продукты зоны выветривания прогрессивно обогащаются алюминием и железом; появляется возможность накопления свободных гидроокислов алюминия (и железа). Этот процесс аллитизации (ферриаллитизации) известен под названием латеритного выветривания.

Соотношение между алюминием и кремнеземом в водах, выщелачивающих горные породы, и в образующихся минеральных фазах осложняется тем, что в интервале $pH 5-8,5$ алюминий находится в равновесии не с простыми гидроокислами, а кремнезем — не с аморфной кремнекислотой, а с более устойчивыми глинистыми минералами [Silica in sea water..., 1967]. При низкой активности кремнезема сравнительно с алюминием в качестве устойчивых твердых фаз могут существовать свободные гидроокислы алюминия; если отношение активностей этих компонентов увеличивается в пользу кремнезема, появляется возможность образования глинистых минералов с одним слоем кремнекислородных тетраэдров (каолинит); при дальнейшем изменении в том же направлении их активностей образуются глинистые минералы с двумя слоями кремнекислородных тетраэдров (иллит, монтмориллонит и др.), между которыми удерживаются катионы оснований [Педеро Ж., 1971]. Для образования и устойчивого существования свободных гидроокислов алюминия необходимо, чтобы кремнезем выносился энергичнее алюминия, т. е. соотношение этих компонентов в промывающих породе водах должно быть в пользу SiO_2 относительно их соотношения в породе; в то же время активность кремнезема в растворе не должна быть слишком большой, иначе

весь алюминий будет расщеплен минералов.

В действительности процесс сложнее. Экспериментально установлено, что при контакте слабощелочными породами главная часть алюминия уходит очень быстро — в течение нескольких часов с поверхности фрагментов породе. Наиболее устойчивых в данных условиях компонентов скорость гидратации и разложения в зем и другие компоненты, в состоянии, должны преодолеть защитную пленку. Возникают определенные условия, при которых в пределах защитной пленки фрагментов породы.

Геохимический профиль определяется также динамикой растворов, контролирующей скорость разложения породы и перехода высвобождаемых компонентов на одной стороне, и выноса этих компонентов на другой. Этого отношения можно назвать «геохимическим» — промывной и выщелачивающей скоростью циркуляции вод обтекающей поверхности поступающих в раствор алюминия и кремнезема. В этом режиме скорость циркуляции в раствор компоненты разлагаются, а в растворе расходуются на образование минеральных фаз. В данной среде минеральные фазы образуются в промежутках между этими процессами. Соотношение скоростей разложения и выщелачивания в растворе компонентов и скорости растворения и выщелачивания образующихся минеральных фаз: свободных гидроокислов алюминия, каолинита и др.

Таким образом, характер и динамика процесса выветривания, соотношение скоростей разложения и выщелачивания компонентов, определяется количеством воды, поступающей в зону выветривания, скоростью циркуляции вод, температурой, влажностью, составом растворов. В результате создается определенная картина выветривания: аллитный, ферриаллитный, ферриаллитный, промывного режима гумидной зоны, карбонатный и карбонатный — в условиях аридной зоны.

По мере просачивания вод в зону выветривания и увеличения количества воды увеличивается их минерализация и изменяется и состав устойчивых

ными поро-
образованием
не компонен-
ных из коры
в первичной

род происхо-
аются и уда-
элементы, в
этого в оста-
часть аморф-
нистых мине-
нералов. Ана-
лые термаль-
В таких усло-
осится.

вания вод от
и сравнитель-
ке алюминия
и крем-
и этом изме-
, когда доля
овится боль-
одукты зоны
и железом;
гидроокислов
сериаллити-
ания.

в водах, вы-
минеральных
юминий на-
, а кремне-
живыми гли-
низкой ак-
естве устой-
идроокислы
нтов увели-
ь образова-
родных тет-
же направ-
ы с двумя
ориллонит
ний [Пед-
вания сво-
незем вы-
компонен-
SiO₂ от-
ктивность
ой, иначе

весь алюминий будет расходоваться на образование глинистых минералов.

В действительности процессы выветривания протекают еще сложнее. Экспериментально установлено [Париллов Ю. С., 1963], что при контакте слабоминерализованных вод со свежими горными породами главная часть компонентов выщелачивается довольно быстро — в течение первых шести часов. Со временем на поверхности фрагментов пород образуется защитная пленка из более устойчивых в данных условиях минералов, которая замедляет скорость гидратации и разложения породы. Основания, кремнезем и другие компоненты, прежде чем перейти в растворенное состояние, должны преодолеть путем диффузии эту защитную пленку. Возникают определенные градиенты концентраций компонентов в пределах защитной пленки и в растворе у поверхности фрагментов породы.

Геохимический профиль выветривания в значительной мере определяется также динамикой промывающих кору выветривания растворов, контролирующей отношение скоростей разложения породы и перехода высвобождающихся компонентов в раствор, с одной стороны, и выноса этих компонентов — с другой. По значению этого отношения можно наметить два предельных режима выветривания — промывной и непромывной. При промывном режиме скорость циркуляции вод обеспечивает немедленный вынос всех поступающих в раствор компонентов. При идеальном непромывном режиме скорость циркуляции вод равна нулю, и поступающие в раствор компоненты разлагающихся пород не удаляются, а полностью расходуются на построение новых, более устойчивых в данной среде минеральных фаз. В природе более характерны промежуточные между этими предельными случаями условия, когда соотношение скоростей разложения породы и выноса переходящих в раствор компонентов обеспечивает определенные активности растворенных компонентов и значения pH, контролирующие образование и устойчивое существование тех или иных минеральных фаз: свободных гидроокислов алюминия, каолинита, монтмориллонита и др.

Таким образом, характер режима выветривания, в частности, соотношение скоростей дезинтеграции пород и выноса их компонентов, определяется количеством осадков, пористостью и трещиноватостью породы, положением базиса эрозии, влияющими на скорость циркуляции вод, температурой среды и другими факторами. В результате создается климатическая зональность типов выветривания: аллитный, сналлитный с каолинитом в условиях промывного режима гумидной зоны и сналлитный с монтмориллонитом и карбонатами — в условиях непромывного режима аридной зоны.

По мере просачивания вниз дренирующую зону выветривания растворов и увеличения длительности контакта с породами увеличиваются их минерализация и pH, а в соответствии с этим изменяется и состав устойчивых равновесных твердых фаз. Возни-

каст вертикальная зональность коры выветривания, которая в полной форме представляет собой такую последовательность основных новообразований (сверху вниз): свободные гидроокислы железа и алюминия — каолинит — монтмориллонит — неизменные горные породы. Выветривание пород во времени протекает или в обратной по отношению к приведенной последовательности, или же, в условиях достаточно интенсивного промывного режима, сразу до свободных гидроокислов алюминия и железа. Следовательно, даже в аридной зоне при достаточной интенсивности промывного режима возможно образование каолинита и свободных гидроокислов алюминия; в гумидной зоне, в условиях затрудненной циркуляции вод, основной равновесной минеральной фазой в зоне выветривания будет являться не каолинит, а монтмориллонит.

Определенное влияние на ход процессов выветривания оказывают и другие факторы. При повышении температуры на 10° скорости химических реакций примерно удваиваются. При прочих равных условиях скорость разложения выше у стекловатых и основных пород по сравнению с полнокристаллическими и кислыми. С увеличением интенсивности жизнедеятельности возрастает количество поступающих в кору выветривания CO_2 и органических кислот, что приводит к уменьшению рН и окислительно-восстановительного потенциала среды и к более энергичному выносу алюминия и других химических элементов, склонных к образованию комплексов с органическими кислотами или более растворимых соединений в восстановительных условиях (железо).

Экспериментальными исследованиями, наблюдениями в природе, а также термодинамическими данными установлено, что в слабобокислых, нейтральных и щелочных средах растворимость фосфатов ограничивается активностью кальция в растворе [Михайлов А. С., 1970]. Устойчивыми минеральными формами фосфора оказываются в основном фосфаты кальция. В кислых средах при рН 1—4 растворимость ортофосфатов кальция резко повышается. Однако в подобных растворах, находящихся в контакте с горными породами, всегда появляются в значительных концентрациях алюминий, железо, а иногда и цветные металлы (зоны окисления сульфидных месторождений), образующие в этих условиях более устойчивые и менее растворимые фосфаты, чем фосфаты кальция. Поэтому в кислых средах роль компонентов, ограничивающих растворимость фосфатов, играют алюминий, иногда цветные металлы или железо. Этими общими положениями определяются степень подвижности фосфора и минеральные формы его в различных условиях коры выветривания.

Характер среды, влияющий на поведение фосфора, в процессе выветривания зависит и от состава первичных пород. По этому признаку горные породы можно подразделить на алюмосиликатные и карбонатные.

Алюмосиликатные породы по степени подвижности фосфора при выветривании в свою очередь делят на бедные кальцием и

железом (кислые), богатые кальцием и железом (основные).

В условиях гумидной зоны выветривания кислых алюмосиликатов в кислой или кислой среде с выносом за — осадителей фосфатов. При разрушении алюмосиликатов в Оставшаяся в коре выветривания представлена остаточным алюмосиликатом сорбированными на гидроокислы фосфатами. В этих условиях выветривания обычно или как в первичных породах.

В начальные стадии выветривания щелочная среда, как, например, ман М. Д., 1962]. Из таких растворов осадок в форме карбонатов, мелкие металлы, а растворимые [Михайлов А. С., 1973, 1]. В возможности выноситься в другие компоненты алюмосиликатов тенденция к обеднению выветривания. Так, продукты щелочных озер Восточной Африки иногда бонатов натрия, в силу чего щелочные воды обладают большой подвижностью к фосфатам и кремнеземных области щелочного вулканизма (оз. Натрон, Магади в Африке). Но высокие концентрации ортофосфатов (сотням миллиграммов на литр).

Минералы, слагающие осадки, характеризуются высокими содержаниями алюминия, которые затрудняют его подвижность. При этом более устойчивые разрушаются в коре выветривания в виде шпатов. Поэтому алюминий ведет себя как устойчивый элемент, когда кальций из верхних горизонтов, начинается растворение алюминия, фосфор в значительной степени растворимых в этих условиях алюмосиликатов в виде фосфатов кальция породами. Поэтому нижние горизонты выветривания основных и ультраосновных пород обогащаются фосфором за счет растворенных фосфатов [Завин Ю. С., 1968]. Следовательно, при выветривании карбонатными породами, содержащими

железом (кислые), богатые щелочами (щелочные) и богатые кальцием и железом (основные и ультраосновные).

В условиях гумидной зоны при промывном режиме в коре выветривания кислых алюмосиликатных пород создается слабокислая или кислая среда с низкими активностями кальция и железа — осадителей фосфатов. При этом фосфор параллельно с разрушением алюмосиликатов переводится в раствор и выносится. Оставшаяся в коре выветривания часть фосфора может быть представлена остаточным апатитом, алюмофосфатами, а также сорбированными на гидроокислах железа и глинистых минералах фосфатами. В этих условиях содержание фосфора в продуктах выветривания обычно или уменьшается, или остается таким же, как в первичных породах.

В начальные стадии выветривания щелочных пород создается щелочная среда, как, например, в Хибинском массиве [Дорфман М. Д., 1962]. Из таких растворов почти полностью сбрасываются в осадок в форме карбонатов кальций и другие щелочноземельные металлы, а растворимость фосфатов резко увеличивается [Михайлов А. С., 1973,2]. В результате этого фосфор получает возможность выноситься в больших количествах сравнительно с другими компонентами алюмосиликатных пород, причем проявляется тенденция к обеднению им остаточных продуктов коры выветривания. Так, продукты щелочного вулканизма в районе великих озер Восточной Африки иногда содержат примесь свободных карбонатов натрия, в силу чего просачивающиеся сквозь них щелочные воды обладают большой растворяющей способностью по отношению к фосфатам и кремнезему. Поэтому в водах, дрепирующих области щелочного вулканизма, и в содовых рассолах (оз. Натрон, Магади в Африке, Тилс в США) отмечены необычайно высокие концентрации ортофосфат-иона, равные десяткам и сотням миллиграммов на литр [Нау R. L., 1966].

Минералы, слагающие основные и ультраосновные породы, характеризуются высокими содержаниями кальция, железа и алюминия, которые затрудняют растворение фосфатов и уменьшают его подвижность. При этом богатые кальцием и железом минералы разрушаются в коре выветривания быстрее, чем щелочные полевые шпаты. Поэтому апатит в коре выветривания таких пород ведет себя как устойчивый минерал. Только в латеритную стадию, когда кальций из верхних горизонтов в значительной части вынесен, начинается растворение апатита, при этом переходящий в раствор фосфор в значительной части связывается в труднорастворимых в этих условиях алюмо- и железифосфатах или переотлагается в виде фосфатов кальция вблизи границы со свежими породами. Поэтому нижние (реже средние) горизонты коры выветривания основных и ультраосновных пород иногда несколько обогащаются фосфором за счет либо остаточного апатита, либо переотложенных фосфатов [Занин Ю. Н., 1975].

Следовательно, при выветривании алюмосиликатных пород с

промышленных концентраций фосфатов ни в аридной, ни в гумидной климатических зонах не реализуется. В зависимости от условий и состава исходных пород содержание фосфора в коре выветривания обычно или остается практически таким же, как в первичных породах, или уменьшается. Локальное увеличение содержания фосфора изредка наблюдается лишь в средних или нижних горизонтах латеритного профиля.

При выветривании алюмосиликатных пород с высокими содержаниями фосфора (фосфориты, апатитовые руды, фосфатные породы), даже если и не происходит существенного перераспределения фосфора, остаточные продукты могут представлять практическую ценность. Так, при выветривании фосфоритов, располагающихся в терригенной толще, на месторождении Таиба (Западный Сенегал) фосфаты кальция в верхних горизонтах замещаются фосфатами алюминия, при этом заметного повышения содержания фосфора не наблюдается [Занин Ю. Н., 1969]. На месторождении Тиес (Сенегал) в верхней части латеритной коры выветривания фосфор также находится в форме алюмофосфатов, ниже их сменяют сложные алюмокальциевые фосфаты типа крандаллита.

Алюмо- и железосфосфаты образуются также и при латеритном выветривании алюмосиликатных пород за счет фосфатных растворов, формирующихся при выщелачивании гуано.

В отличие от алюмосиликатных, в зоне выветривания карбонатных пород вплоть до полного их выщелачивания наблюдаются высокие концентрации кальция. Карбонаты, растворяясь в дренирующих кору выветривания водах, оказывают буферное воздействие на среду, которая в зависимости от парциального давления углекислого газа может сохранять значения pH от слабощелочных до слабощелочных.

Расчетные данные и экспериментальные определения показывают, что отношение P_2O_5 к CaO при выщелачивании смесей карбонатов и фосфатов (фосфоритов) в чистой воде, насыщенной CO_2 , 1 : 100—1 : 200. При этом с уменьшением p_{CO_2} и увеличением pH это отношение на каждые 0,5 единицы pH уменьшается в 2—3 раза и при pH 7,5 становится равным нескольким тысячным [Михайлов А. С., 1970]. Эти цифры верны только для растворов, насыщенных одновременно карбонатом кальция и фосфатами кальция группы апатита. Если раствор не насыщен карбонатом кальция, буферное действие последнего снимается, и значение pH среды остается значительно ниже, а рассматриваемое отношение может увеличиться в пользу фосфора.

Если принять среднее кларковое содержание фосфора в карбонатных породах 0,04% (см. табл. 1), что соответствует отношению P_2O_5 к CaO в чистом известняке 1 : 560, а в чистом доломите 1 : 300, то на основании приведенных данных можно сделать следующие выводы. В гумидной зоне, характеризующейся высокой биологической продуктивностью и поэтому высоким значением p_{CO_2} в зоне выветривания, отношение фосфора к кальцию в выщелачивающих карбонатные породы водах будет 1 : 100—1 : 200 по-

этому накопление фосфора в этих содержаниях P_2O_5 в известняках минимальные содержания P_2O_5 фосфора в коре выветривания, а никак.

При образовании остаточных соединений фосфора все карбонаты выветривания постепенно выщелачиваются, уменьшается возможность образования фосфора к кальцию. При просачиваясь вниз, соприкасаясь с содержащимся сверх равновесия фосфором осадок с образованием в этом переходом от верхних бескарбонатных образуются тела высококальциевым размытом переходе фосфатизации интервале.

При сохранении вертикального выщелачивания карбонатов в зонах вторичных фосфоритов могут происходить выветривания вниз. При этом фосфаты постепенно выщелачиваются все глубже и глубже. Выветривания поверхностных горизонтов латеритную стадию с образованием фосфоритов. При появлении последних также алюмофосфатов. Возникает зона: сверху латериты со свободным содержащими алюмофосфаты, выщелачиваемые продукты, фосфор в виде карбонатов, в зонах выветривания появляются карбонаты, в зонах являются фосфаты кальция группы апатита. Выветривание карбонатных пород и фосфоритов может происходить на месторождениях (Флориды, Белкинское и другие месторождения).

Аналогичный характер выветривания с накоплением вторичных фосфоритов фосфора является гуано. Известные месторождения такого типа на острове Науру, Оушен, архипелаг Соломоновых островов и другие в Тихом океане и др.).

Карбонатсодержащие фосфориты 15% при выветривании почти полностью объясняется тем, что если в породах та кальция больше, чем карбонатов, то климата относительный выветривания

этому накопление фосфора в этих условиях возможно только при содержаниях P_2O_5 в известняках не ниже 0,5—1%. Для доломитов минимальные содержания P_2O_5 , необходимые для накопления фосфора в коре выветривания, немного меньше, чем для известняков.

При образовании остаточных продуктов с повышенным содержанием фосфора все карбонаты из верхних горизонтов коры выветривания постепенно выщелачиваются, вследствие этого появляется возможность образования растворов с более высоким отношением фосфора к кальцию. Но как только такие растворы, просачиваясь вниз, соприкасаются с карбонатами, весь фосфор, содержащийся сверх равновесного с карбонатами уровня, сбрасывается в осадок с образованием вторичных фосфоритов. При резком переходе от верхних бескарбонатных горизонтов к карбонатным образуются тела высококачественных фосфоритовых руд; при размытом переходе фосфатизация рассеивается на значительном интервале.

При сохранении вертикальной циркуляции растворов фронт выщелачивания карбонатов и зона интенсивного формирования вторичных фосфоритов могут последовательно перемещаться вниз. При этом фосфаты последовательно растворяются и переотлагаются все глубже и глубже. В таком случае степень выветривания поверхностных горизонтов углубляется до перехода в латеритную стадию с образованием свободных гидроокислов алюминия. При появлении последних часть фосфора связывается в форме алюмофосфатов. Возникает зональность профиля выветривания: сверху латериты со свободными гидроокислами алюминия, содержащие алюмофосфаты; ниже — фосфатные глинисто-кремнистые продукты, фосфор в которых присутствует в составе сложных алюмокальциевых фосфатов; еще ниже в продуктах выветривания появляются карбонаты, в присутствии которых устойчивыми являются фосфаты кальция группы апатита.

Выветривание карбонатных или карбонатсодержащих фосфатных пород и фосфоритов может приводить к образованию промышленных месторождений (Флорида, Теннесси в США; Телекское, Белкинское и другие месторождения в СССР).

Аналогичный характер выветривания карбонатных пород с накоплением вторичных фосфоритов происходит, если источником фосфора является гуано. Известны многочисленные мелкие месторождения такого типа на океанических островах как с полным, так и с неполным вертикальным профилем выветривания (острова Науру, Оушен, архипелаг Общества, Каролинские и Соломоновы острова и другие в Тихом океане, о. Рождества в Индийском океане и др.).

Карбонатсодержащие фосфориты с содержанием $P_2O_5 > 10$ —15% при выветривании почти всегда обогащаются фосфором. Это объясняется тем, что если в первичной породе содержание фосфата кальция больше, чем карбонатов, то даже в условиях аридного климата относительный вынос растворенных карбонатов оказыва-

ется больше, чем фосфатов (месторождения Северной Африки, бассейна Каратау, Фосфории и др.). Процесс растворения и переотложения фосфатов в карбонатных породах убыстряется, если выветривание сопровождается окислением пирита. Образующаяся при этом серная кислота вызывает уменьшение значения pH среды, что сопровождается резким усилением растворения карбонатов и отложением гипса. При этом растворимость фосфатов или незначительно увеличивается, или даже уменьшается [Михайлов А. С., 1973.], часть их сбрасывается в осадок с образованием вторичных фосфоритов.

Таким образом, вторичные фосфоритовые руды промышленного значения в составе продуктов выветривания алюмосиликатных пород формируются очень редко, и только тогда, когда первичные породы были обогащены фосфатами и содержали фосфориты или при поступлении фосфатов из гуано. Большинство месторождений вторичных фосфоритовых руд образуются при выветривании карбонатных или карбонатсодержащих пород. При этом минимальное содержание P_2O_5 в первичных карбонатных породах, необходимое для образования вторичных фосфоритовых руд, составляет 0,3—0,5%, что значительно ниже, чем для алюмосиликатных пород.

Фосфор в процессах транспортировки. Продукты дезинтеграции и химического изменения первичных пород частично образуют остаточные накопления, а частично вовлекаются в транспортировку. В процессах транспортировки фосфор участвует в трех формах: 1) в растворенном состоянии; 2) в составе взвесей, главным образом в составе коллоидных частиц в химически связанном или сорбированном виде; 3) в составе твердого материала. При этом часть фосфора в основном растворенного и коллоидного, вовлекается в биологический круговорот, осложняющий транспортировку.

Концентрация растворенного фосфора в поверхностных водотоках характеризуется невысокими значениями 0,011—0,071 мг/л (см. табл. 1). Большая часть растворенного фосфора сравнительно быстро достигает конечных водоемов, где частично осаждается и частично обобществляется в общем резерве водных масс бассейнов осадконакопления.

В твердых продуктах транспортировки фосфор присутствует в виде собственных минералов в рассеянном состоянии, в виде изоморфной примеси в алюмосиликатах и других минералах, а также в сорбированной форме. Кроме простого перемещения твердых продуктов выветривания в пространстве, при транспортировке происходит дальнейшее химическое изменение и механическое истирание кластических компонентов с переводом их из грубозернистых фракций в тонкозернистые и, наконец, сортировка транспортируемого материала, в частности, разделение по крупности частиц и плотности. Вследствие сортирующей деятельности в процессе транспортировки возможно обогащение фосфором отдельных фракций кластического материала. К такого рода концентрациям фосфатов относятся россыпи монацита (Бразилия) и скопления фосфатного галечника в аллювии (штаты Флорида и Се-

верная Каролина, США). Месторождения апатитов и продукты выветривания апатитосодержащих пород.

Поведение фосфора в осадках

Одной из особенностей бассейнов осадков является неоднородность физико-химических процессов во времени — физико-химическое состояние осадков рождается и поддерживается под влиянием различных факторов: климата, вулканической деятельности и др.

Растворенный фосфор, поступающий в бассейны типа морей и океанов, является резервом водных масс. В тех случаях, когда может происходить удаление фосфора из водной массы, в виде коллоидов и материала осадков, происходит извлечение и отложение фосфора. Все эти процессы происходят в осадочных бассейнах постоянно при определенных благоприятных условиях, образующихся в начале месторождения осадков. Усиление процессов осадконакопления приводит к прекращению накопления фосфора в карбонатных, кремнистых и др. породах.

Установлено, что целью является изучение поведения фосфора в осадочных бассейнах осадконакопления как физико-химической системы. Поведение такой системы является сложным и определяет поведение фосфатных компонентов, и в том числе, в частности, механизм процесса осадконакопления. Рассматривать в тесной связи с процессом осадконакопления. Основываясь на данных о составе осадочных пород, установившихся в крупных масштабах протекания процесса осадконакопления. 1) на фоне преимущественно осадочных пород, установившихся в крупных масштабах протекания процесса осадконакопления. Каратауский, Скалистый и др. бассейнов вод, насыщенных карбонатами, седиментации (Актюбинский). Воды, когда бассейновые воды, хотя часто и приближались к осадочным породам.

Первичные фосфатные осадки, образовавшиеся из насыщенных карбонатов, замедлении или полной остановки процесса осадконакопления. Отчетливые следы круговорота в осадках этих бассейнов. Физико-химических параметров в осадках при их осадконакоплении и выветривании карбонатов и наоборот.

Северной Африки, растворения и переноса ускоряется, если pH повышается. Образующаяся карбоангидрат фосфатов или фосфоритов [Михайловский с образованием

руды промышленно-значимых алюмосиликатных пород, когда первичные фосфориты или фосфориты в результате выветривания карбонатов имеют минимальное содержание фосфора, составляющее 0,3—0,5% в силикатных породах.

продукты дезинтеграции частично образуют осадки в транспортировке. Фосфор в трех формах: растворимой, связанной в осадках, главным образом в связанном или связанном с органическим материалом. При этом фосфоритовый, вовлекающий транспортировку. Концентрация фосфора в водотоках составляет 0,011—0,071 мг/л. Фосфор сравнительно легко осаждается из водных масс бассейнов.

фосфор присутствует в осадках, в виде фосфоритов, а также в виде фосфоритов, при транспортировке и механическое воздействие их из грубозернистых осадков. Транспортировка фосфора по крупности зависит от его содержания в осадках. Фосфоритовый осадок (Бразилия) и скопления фосфоритов в Флорида и Се-

верная Каролина, США). Можно ожидать в благоприятных условиях обогащение апатитом при размыве продуктов сиаллитного выветривания апатитосодержащих пород.

Поведение фосфора в осадочных и диагенетических процессах. Одной из особенностей бассейнов осадконакопления является неоднородность физико-химических параметров в пространстве и во времени — физико-химическая зональность. Эта зональность порождается и поддерживается действием внешних для бассейна факторов: климата, вулканизма, жизнедеятельности организмов и др.

Растворенный фосфор, поступающий в бассейны осадконакопления типа морей и океанов, обобществляется в общем солевом резерве водных масс. В тех или иных физико-химических зонах может происходить удаление фосфора из этого резерва посредством физико-химического осаждения или сорбции на взвешенных коллоидах и материале осадков, или, наконец, путем биогенного извлечения и отложения фосфатосодержащих остатков организмов. Все эти процессы обычные, протекают в морских и океанических бассейнах постоянно. На фоне их, при стечении благоприятных условий, образуются крупные концентрации фосфатов, дающие начало месторождениям. Эти условия реализуются при усилении процессов осаждения фосфатов и полного или почти полного прекращения накопления всех других осадков (терригенных, карбонатных, кремнистых и др.).

Установлено, что целый ряд физико-химических параметров бассейнов осадконакопления контролируется одной, главной физико-химической системой. Для морских и океанических бассейнов такой системой является карбонатная, которая во многом определяет поведение фосфатов, боратов и других гидролизующихся компонентов, и в том числе процессы их накопления. Следовательно, механизм процессов фосфатонакопления необходимо рассматривать в тесной связи с состоянием карбонатной системы. Основываясь на данных о составе ассоциирующих с фосфоритами осадочных пород, устанавливается, что фосфатонакопление в крупных масштабах протекало лишь в бассейнах двух типов: 1) на фоне преимущественно карбонатной седиментации (бассейны Каратауский, Скалистых гор и другие), т. е. в условиях бассейновых вод, насыщенных карбонатами; 2) на фоне терригенной седиментации (Актюбинский, Волжский бассейны и др.) в условиях, когда бассейновые воды не были насыщены карбонатами, хотя часто и приближались к насыщению ими.

Первичные фосфатные осадки бассейнов первого типа, образовавшиеся из насыщенных карбонатами вод, формировались при замедлении или полной остановке отложения кальцита или доломита. Отчетливые следы коррозии фосфатов карбонатами и наоборот в осадках этих бассейнов показывают, что изменение физико-химических параметров в сторону уменьшения растворимости фосфатов при их осаждении вызывало повышение растворимости карбонатов и наоборот. Очевидно, накопление фосфатных осад-

ков в бассейнах, насыщенных карбонатами, соответствует процессам, протекающим не в простой физико-химической системе, в которой присутствуют одни лишь фосфаты, а в более сложной — фосфатно-карбонатной, когда отложение фосфатов находилось в тесной зависимости от процессов осаждения или растворения карбонатов.

Накопление фосфатных глауконито-терригенных осадков в бассейнах второго типа происходило из вод, не насыщенных карбонатами, хотя во многих случаях находящихся вблизи точки насыщения ими. Такое состояние исключало как хемогенное осаждение, так и интенсивное растворение карбонатов из осадка, куда они могли попадать в виде остатков организмов и механически принесенных обломочных частиц. Об этом свидетельствует, в частности, наличие кальцитовых остатков организмов (ростры белемнитов, обломки раковин и др.) при отсутствии хемогенных карбонатов во многих фосфоритах, ассоциирующих с такими осадками. Условия, при которых происходило осаждение фосфатов в бассейнах этого типа, отвечали фосфатно-карбонатным системам с не насыщенными карбонатами жидкой фазой.

Анализ экспериментальных и расчетных данных [Михайлов А. С., 1970, 1973_{1,2}] показывает, что в фосфатно-карбонатных системах с насыщенной карбонатами и фосфатами жидкой фазой уменьшение парциального давления углекислого газа в диапазоне значений от 1 до 10^{-6} кгс/см² может вызвать осаждение лишь карбоната кальция без фосфатов или с незначительной примесью их. Осаждение одних фосфатов или фосфатов с той или иной примесью кальцита может происходить только при меньших значениях p_{CO_2} и значениях pH от 10—10,5 до 14. Однако такие значения pH морских и океанических вод маловероятны. Таким образом, за счет изменения парциального давления углекислого газа образование месторождений фосфоритовых руд невозможно.

Рассмотрение других физико-химических процессов в фосфатно-карбонатных системах, насыщенных карбонатами, приводит к выводу, что накопление крупных концентраций фосфатов могло реализоваться главным образом в результате уменьшения их значения pH. При этом увеличивается растворимость карбонатов, замедляется или прекращается их осаждение с одновременным уменьшением растворимости фосфатов, часть которых сбрасывается в осадок. Увеличение значения pH в этих условиях приводит к противоположным результатам: снижению растворимости карбонатов и их осаждению при одновременном увеличении растворимости фосфатов, прекращению их осаждения или даже частичному растворению, если они присутствуют в осадке.

Судя по геологическим данным, уменьшение значения pH в бассейнах такого типа, вызывавшее образование фосфатных осадков, могло происходить под влиянием различных факторов: 1) в результате поступления кислых компонентов (вод или газов, содержащих свободные сильные кислоты — серную и соляную или их соли со слабыми основаниями) вулканического происхожде-

ния в зоны с карбонатными осадками; 2) в результате поступления в бассейн с карбонатными осадками морских вод с водами, обогащенными кальцием (например, в результате испарения вод с определенным влиянием кислых вод глубинного тектонических нарушений); 3) в результате поступления в бассейн свободных доз фосфатов и замещение их при контакте пересыщенных вод при этом физико-химические параметры почти не изменяются.

В природных условиях процессы в бассейнах с низкой концентрацией карбонатов и фосфатов при одновременном увеличении их концентрации ведут к образованию коллоидальной фазы. Фосфаты в подобных условиях с тем отложением на активных центрах кристаллизации с образованием зерен замещения карбонатов, а иногда и с образованием осадков другого состава. Коллоидная фаза образуется при более высоких концентрациях карбонатов и фосфатов при более резком изменении условий в природных бассейнах.

В условиях фосфатно-карбонатных систем с карбонатами жидкой фазой, при увеличении концентрации фосфатов может реализоваться процесс осаждения в противоположном направлении: при увеличении концентрации кальция, происходящей из не насыщенного карбонатами вод, при увеличении степени насыщения карбонатами вод в зоны терригенных осадков, не насыщенными карбонатами вод, или, наоборот, при поступлении вод из зон терригенных осадков в бассейны с карбонатными осадками. В первом случае формирование осадков происходит по типу: глаукониты — карбонаты. Если воды насыщенные карбонатами, последние не могут существовать. Во втором случае карбонаты и фосфаты в осадках карбонатов располагаются в виде обломочными осадками.

Таким образом, физико-химические условия образования осадков фосфатов из бассейнов с карбонатами жидкой фазой не являются простой фосфатной системой, а представляют собой более сложную фосфатно-карбонатную систему.

ответствует процес-
ческой системе, в ко-
более сложной —
фатов находилось в
растворения кар-

ных осадков в бас-
насыщенных карбо-
вблизи точки на-
гемогенное осажде-
из осадка, куда
измов и механически
зидетельствует, в ча-
измов (ростры бе-
сутствии хемогенных
ирующих с такими
о осаждеие фосфа-
тно-карбонатным си-
фазой.

данных [Михай-
фосфатно-карбонатных
татами жидкой фазой
ого газа в диапазоне
о осаждеие лишь
ачительной примесью
в с той или иной
о при меньших зна-
а. Однако такие зна-
есронтны. Таким об-
вления углекислого
руд невозможно.
процессов в фосфат-
татами, приводит к
ной фосфатов могло
е разрабатыва их зна-
ость карбонатов, за-
с одновременным
натурных обрасывает-
ством приводит к
активности карбо-
натов растворени
или даже частично

значения рН в
фосфатных осад-
факторов:
вод или газов,
и создающую или
происхожде-

ния в зоны с карбонатными осадками; 2) при окислении серово-
дорода глубинных вод при поступлении их в мелководные части
бассейна с карбонатными осадками; 3) вследствие взаимодейст-
вия морских вод с водами, обогащенными сульфатами или хло-
ридами кальция (например, размывающих эвапориты); 4) при
испарении вод с определенным первичным составом; 5) за счет
влияния кислых вод глубинного происхождения в зонах развития
тектонических нарушений; 6) при разложении органических остат-
ков в условиях свободного доступа кислорода. Наконец, осажде-
ние фосфатов и замещение ими карбонатов может происходить
при контакте пересыщенных ими вод с карбонатными осадками,
при этом физико-химические параметры бассейновых вод практи-
чески почти не изменяются.

В природных условиях процессы осаждения фосфатов из бас-
сейновых вод с низкой концентрацией фосфора, протекающие при
одновременном увеличении растворимости карбонатов, не приво-
дят к образованию коллоидальных хлопьев, оседающих на дно.
Фосфаты в подобных условиях осаждаются преимущественно пу-
тем отложения на активных поверхностях либо на центрах кри-
сталлизации с образованием зерен и оолитов, или в результате
замещения карбонатов, а иногда и органических остатков друго-
го состава. Коллоидная фаза образуется из растворов с гораздо
более высокими концентрациями осаждающихся компонентов и
при более резком изменении среды, чем это обычно наблюдается
в природных бассейнах.

В условиях фосфатно-карбонатных систем с не насыщенной
карбонатами жидкой фазой, отвечающих бассейнам второго типа,
осаждение фосфатов может реализоваться при процессах проти-
воположного направления: при повышении значения рН и кон-
центрации кальция, происходящих при переходе бассейновых вод
из не насыщенного карбонатами состояния в насыщенное, или при
увеличении степени насыщения ими. В природных условиях такие
процессы могут реализоваться при поступлении пересыщенных
карбонатами вод в зоны терригенных осадков и смешении их с
не насыщенными карбонатами и обогащенными фосфатами вода-
ми, или, наоборот, при поступлении не насыщенных карбонатами
вод из зон терригенных осадков бассейна в область карбонатных
осадков. В первом случае формируется следующий идеальный
разрез (снизу вверх): глаукоцит-терригенные осадки — фосфори-
ты — карбонаты. Если воды не достигают насыщения и пересы-
щения карбонатами, последние в верхней части разреза могут от-
сутствовать. Во втором случае на корродированной поверхности
карбонатов располагаются фосфориты, сменяющиеся выше обло-
мочными осадками.

Таким образом, физико-химические процессы, приводящие к
осаждению фосфатов из бассейновых вод, протекают в условиях
не простой фосфатной системы, которая моделировалась и изуча-
лась многими исследователями экспериментально, а в условиях бо-
лее сложной фосфатно-карбонатной системы. В зависимости от

степени насыщения карбонатами бассейновых вод могут реализоваться два основных механизма образования фосфатных осадков. В не насыщенных карбонатами водах фосфаты осаждаются при увеличении степени насыщения карбонатами; при достижении насыщения ими оно прекращается. В условиях насыщения и равновесия бассейновых вод с карбонатами механизм процесса фосфатонакопления имеет противоположную направленность: осаждение фосфатов происходит при уменьшении рН, замедлении и прекращении садки карбонатов и изменении параметров в сторону перехода в не насыщенное карбонатами состояние, при достижении которого осаждение фосфатов прекращается и может смениться их растворением, если они присутствуют в осадке.

Проявление этих двух механизмов процессов фосфатонакопления прослеживается и при рассмотрении поведения фосфора при выветривании горных пород. Фосфатизация карбонатных пород атоллов, протекающая при воздействии слабоминерализованных, не насыщенных карбонатами вод атмосферных осадков со слабощелочными и кислыми значениями рН, обогащенных фосфатами за счет выщелачивания из гуано, подтверждает действие первого механизма и его универсальность в природе. В условиях высокощелочных озерных рассолов, насыщенных карбонатами и осаждающих карбонаты, фосфор удерживается в растворенном состоянии, содержание его повышается до значений, в тысячи раз превышающих среднее содержание фосфора в океанических водах (озера Натрон, Магади и другие в Восточной Африке, Серлз и другие в США).

Кроме процессов химического осаждения фосфатов, большую роль в образовании фосфатных осадков играют сорбционные процессы. Экспериментальные исследования и анализы современных осадков свидетельствуют, что минимальной сорбционной способностью по отношению к фосфатам обладают карбонаты, в которых содержание сорбированного фосфора обычно не превышает 0,01%. Несколько больше фосфора сорбируют глины. Основными же сорбентами фосфатов являются аморфные гидроокислы железа, содержащие небольшое количество Al_2O_3 , $Si(OH)_4$ и органического вещества [Sorpton..., 1971; Berner R., 1973]. Содержание сорбированного P_2O_5 в них может достигать нескольких процентов. Поэтому величина сорбционной емкости как карбонатных, так и бескарбонатных осадков в отношении фосфатов практически зависит от количества в них свободных гидроокислов железа.

В современных океанах осадки вблизи океанических поднятий на больших площадях обогащены слабоаркстализованными гидроокислами железа, образующимися при палаганизации вулканического стекла базальтового состава. Химические анализы таких вулканогенно-терригенных осадков из районов Восточно-Тихоокеанского поднятия показывают хорошую линейную корреляцию между содержаниями P_2O_5 и Fe_2O_3 . Расчетами установлено, что существенное количество фосфатов, поступающих в океан с речным стоком, удаляется путем сорбции на гидроокислах

железа, образующихся при изменении условий. Этот процесс мог иметь большое значение в формировании фосфатов современных и древних бассейнов.

Глауконит-терригенные осадки, в том числе глаукониты, содержат большое количество фосфора в составе глауконита и других минералов. Видно, сначала поступало в осадки в форме гидроокислов, а затем из морских вод значительное количество сорбированного фосфора в виде гидроокислов железа в виде осадков.

Влияние организмов на формирование осадков проявляется путем как в бассейновых вод с последующим осаждением так и изменения физико-химических условий жизнедеятельности и процессов в процессе накопления фосфатных осадков. Косвенное влияние биологическое и более распространено в виде выделения O_2 при фотосинтезе и потребления кислорода при дыхании, что влечет за собой изменения состояния карбонатов окружающей среду продуктов разложения: при свободном доступе кислорода они представлены CO_2 , H_2O , N , S и т.д. Окисление среды, а в восстановительных условиях NH_4 , приводящими к подщелачиванию фосфора при разложении органического фосфора превращается в осадки в воде, создавая иногда осадки фосфатов кальция и вызывая их осаждение. Этот процесс может проявляться в виде фактора: организмы, потребляющие фосфор в одних местах (горизонтах) бассейнов, выделяя фосфор и другие компоненты в других местах.

Накопление первичного фосфора в осадках является одним из этапов формирования месторождений фосфоритов. Геологическим и петрографическим исследованиям кремнезем фосфатных осадков посвящено много работ по формированию и перераспределению [Соболев, 1971].

В диагенетических процессах изменяется состав и структура осадков, что влияет на содержание и условия разложения фосфора. Изучение поведения фосфора можно в значительной степени в диагенезе, характерных для осадочных пород.

железа, образующихся при изменении вулканогенного материала. Этот процесс мог иметь большое значение в балансе океанических фосфатов современных и древних океанов [Berner R., 1973].

Глауконит-терригенные осадки, с которыми ассоциируют желваковые фосфориты, содержат большое количество железа, входящего в состав глауконита и пирита. Последние представляют собой преимущественно диагенетические образования. Железо, очевидно, сначала поступало в осадки в другой минеральной форме — в форме гидроокислов, которые должны были захватывать из морских вод значительное количество фосфора. Дальнейшая судьба сорбированного фосфора связана с процессами преобразования гидроокислов железа в диагенетическую стадию.

Влияние организмов на процессы образования фосфатных осадков проявляется путем как прямого извлечения фосфора из бассейновых вод с последующим отложением фосфатных остатков, так и изменения физико-химических параметров среды за счет жизнедеятельности и процессов разложения организмов. В результате накопления фосфатных раковин образуются ракушняковые фосфориты. Косвенное влияние биогенных факторов более универсально и более распространено в природных условиях. Оно проявляется в следующих основных формах: 1) потребление CO_2 и выделение O_2 при фотосинтезе или выделение CO_2 и потребление кислорода при дыхании, что в том и другом случае приводит к изменениям состояния карбонатной системы; 2) освобождение в окружающую среду продуктов разложения органического вещества: при свободном доступе кислорода в окислительных условиях они представлены CO_2 , H_2O , N , SO_4^{2-} , обуславливающими подкисление среды, а в восстановительных условиях — CO_2 , H_2O , H_2S , NH_4 , приводящими к подщелачиванию среды; 3) высвобождение фосфора при разложении отмерших организмов. При этом органический фосфор превращается в ортофосфат-ионы и растворяется в воде, создавая иногда сильное пересыщение относительно фосфатов кальция и вызывая их осаждение. Наконец, влияние организмов может проявляться и в качестве транспортирующего фосфор фактора: организмы, потребляющие фосфор, развиваются в одних местах (горизонтах) бассейна, а разлагаются, высвобождая фосфор и другие компоненты, обычно в других.

Накопление первичного фосфатного осадка — лишь один из этапов формирования месторождения фосфоритовых руд. По литологическим и петрографическим данным фосфаты, карбонаты и кремнезем фосфатных осадков претерпевали неоднократное изменение и перераспределение [Cook P. G., 1970].

В диагенетических процессах поведение фосфора контролируется составом и структурой осадка, составом иловых вод, содержанием и условиями разложения органического вещества. С позиций поведения фосфора можно выделить три основных типа обстановок в диагенезе, характеризующихся соответственно определенными типами иловых вод [Шишкина О. В., 1972].

1. Состав иловых вод и физико-химические условия в основных чертах сохраняются близкими к таковым в морских водах. Подобные условия наблюдаются в осадках океанов и открытых районов окраинных морей: в красных глубоководных глинах, известковых и кремнистых океанических илах, в серых слабостановленных глинистых осадках. Для них характерно незначительное количество органического вещества и обычно окислительный режим. Разложение органики в этих условиях вызывает понижение рН до 7—7,5, что приводит к увеличению растворимости карбонатов. Уменьшение рН в равновесии с карбонатами (что реализуется только в карбонатных или карбонатсодержащих осадках) приводит к понижению растворимости и подвижности фосфатов. Слабая подвижность фосфора в диагенетическую стадию характерна для рассматриваемых обстановок. При низкой скорости накопления терригенного материала возможно небольшое обогащение карбонатсодержащих осадков фосфором из наддонных вод путем замещения карбонатов фосфатами.

В крупнозернистых осадках создаются более благоприятные условия для окисления, чем в глинистых. Органическое вещество в них быстро расходуется, что сопровождается интенсивным растворением карбонатов, выносом и перераспределением фосфатов, окислов железа и марганца и некоторых др. минералов.

2. В обогащенных органическим веществом осадках краевых зон морей и океанов, окраинных морских впадин и внутриконтинентальных морей в условиях резко восстановительной среды происходит редукция сульфатов, что вызывает повышение рН до 8,3—8,5 [Шишкина О. В., 1972; Фербридж Р. У., 1971] и щелочного резерва, обогащение иловых вод щелочными катионами и обеднение кальцием и магнием вследствие осаждения последних в виде карбонатов. В этих условиях растворимость фосфатов повышается. В бескарбонатных осадках возникает резкая неоднородность физико-химических параметров, что приводит к интенсивному перераспределению фосфатов и образованию его концентраций разной величины и формы (желваки, плиты, пласты). Повышенные значения рН благоприятствуют также растворению и переотложению кремнезема. В восстановительных условиях железо и марганец существуют в двухвалентных более растворимых формах, чем окисные соединения этих металлов, что обуславливает их подвижность и перераспределение.

В слабостановительных условиях гидроокислы железа первичного осадка интенсивно расходуются на образование глауконита, а в резко восстановительных преобразуются в сульфиды железа. При этом сорбированный фосфор высвобождается и переходит в раствор, а затем отлагается в форме фосфатов кальция в тех участках, где для этого имеются благоприятные условия. В рассматриваемой обстановке неустойчивыми оказываются даже фосфаты железа, которые дают начало железистым алюмосиликатам типа глауконита или сульфидам железа и высвобождают фосфор в раствор [М...

Гидроокислы железа, вероятно осаждаются и концентрации фосфора образующихся в глауконит-территориях сорбированные на гидроокислах жидкого разлагающегося органического вещества и переотлагались в виде фосфоритов. Для рассматриваемых условий (переход рассеянного органического вещества в др.) фосфор перераспределением и концентрацией...

3. Иногда в глубинных осадках (Черное море) при интенсивных процессах происходит переход фосфора из твердой фазы эквивалентного количества в раствор. В результате в осадках образуются ривео-кальциевые воды [Шишкина О. В., 1972]. В ранних стадиях глубоких погружений в осадках фосфаты кальция в виде инертны и практически не перераспределяются. Со временем в диагенезе образуются фосфориты. Очень часто начальные условия восстановительных, затем при изменении восстановительных условий фосфориты литифицируются, а условия в них изменяются последовательную смену фосфоритов и осаджения фосфатов происходит перераспределение фосфатов с одновременным образованием фосфоритов, например, установлено для фосфоритов [Cook P. G., 1970].

Следовательно, фосфориты образуются в результате различных процессов формирования фосфоритов. Процессы формирования фосфоритов очень сложны и до сих пор во многих случаях остается ряд гипотез образования фосфоритов. Впервые гипотеза была сделана в работах Б. М. Гинзбург, Г. И. Бушинского, А. С. Метельского. Все эти гипотезы можно разделить на...

1. Биогенные гипотезы, объясняющие образование фосфоритов за счет концентрации фосфора в осадках. По одной из первых гипотез еще в XIX в., фосфориты являются результатом накопления планктона в результате накопления планктона в массовой их гибели [Warin O. N., 1900]. Образование фосфоритов (ракушняковых, остаточных) образование не вызывает сомнения. О...

Гидроокислы железа, вероятно, играли очень большую роль в осаждении и концентрации фосфатов в первичных осадках, преобразующихся в глаукоцит-терригенные породы. При диагенезе сорбированные на гидроокислах железа фосфаты, а также фосфор разлагающегося органического вещества высвобождались в раствор и переотлагались в виде фосфатов кальция желваковых фосфоритов. Для рассматриваемых обстановок характерна тенденция к переводу рассеянного в осадке (в гидроокислах железа, органическом веществе и др.) фосфора в раствор с последующим перераспределением и концентрацией на локальных участках.

3. Иногда в глубинных осадках внутриконтинентальных морей (Черное море) при интенсивном развитии катионообменных процессов происходит переход кальция в раствор с поглощением твердой фазой эквивалентного количества натрия и калия из поровых вод. В результате в осадках формируются хлоридные натриево-кальциевые воды [Шишкина О. В., 1972]. Обстановки этого типа в раннем диагенезе являются исключением, хотя в условиях глубоких погружений в поздние этапы диагенеза они встречаются нередко. Фосфаты кальция и карбонаты в этих условиях крайне инертны и практически не перераспределяются.

Со временем в диагенезе обычно происходит изменение условий. Очень часто начальные этапы диагенеза протекают в окислительных условиях, затем при захоронении и погружении они сменяются восстановительными; в дальнейшем осадки постепенно литифицируются, а условия в них стабилизируются. Это обуславливает последовательную смену процессов растворения карбонатов и осаждения фосфатов процессами растворения и перераспределения фосфатов с одновременным отложением карбонатов, как, например, установлено для фосфоритов формации фосфория [Cook P. G., 1970].

Следовательно, фосфориты полигенны: они могут образовываться в результате различных процессов и в разных условиях. Процессы формирования месторождения морских фосфоритов очень сложны и до сих пор во многом не выяснены. Предложены ряд гипотез образования фосфоритов, подробный анализ которых был сделан в работах Б. М. Гиммельфарба, Н. А. Красильниковой, Г. И. Бушинского, А. С. Михайлова и других исследователей. Все эти гипотезы можно разделить на две группы.

1. Биогенные гипотезы, объясняющие происхождение фосфоритов за счет концентрации фосфора организмами и накопления их остатков. По одной из первых гипотез такого рода, высказанной еще в XIX в., фосфориты являются накоплениями копролитов. Другие исследователи объясняли образование фосфоритов в результате накопления планктона или фосфатных остатков рыб при массовой их гибели [Warin O. N., 1968]. Для некоторых типов фосфоритов (ракушняковых, костных брекчий) биогенное происхождение не вызывает сомнений. Однако при образовании подавляющего большинства месторождений морских фосфоритовых руд

2. Хемогенные гипотезы, согласно которым фосфориты являются физико-химическими осадками морских бассейнов. А. В. Казаков [1937] предложил гипотезу, объясняющую образование фосфоритов в результате осаждения фосфатов из поднимающихся глубинных морских и океанических вод, происходящим при уменьшении парциального давления углекислого газа. Эта гипотеза быстро завоевала широкое признание и затем разрабатывалась и уточнялась крупными зарубежными геологами: В. Е. Мак Келви, Р. П. Шелдоном и другими.

А. И. Смирнов [1958], высказав сомнение о ведущей роли уменьшения p_{CO_2} при осаждении фосфатов, предположил, что процессы фосфатонакопления реализуются при смещении морских вод с водами-осадителями, содержащими повышенные концентрации фосфат-ионов, или кальция, или гидроксильных ионов. Фосфориты кремнисто-доломитовой формации, по А. И. Смирнову, образовались за счет осаждения фосфатов при взаимодействии морских вод со щелочными (рН 9—9,5) водами коры выветривания магматических пород. Уменьшение p_{CO_2} не может привести к образованию крупных концентраций фосфатов, а повышение рН морских вод, насыщенных карбонатами, происходящее при смещении их со щелочными, вызывает не осаждение фосфатов, а, наоборот, приводит к увеличению растворимости последних и сохранению их в растворе.

Различными авторами выдвигались представления об образовании фосфоритов путем осаждения фосфатов из морской воды под действием других факторов: вулканизма, жизнедеятельности организмов и др. Сводка их дана в работе О. Н. Уорена [Warin O. N., 1968].

К хемогенным гипотезам относятся и те, которые объясняют образование фосфоритов в результате замещения ранее сформировавшихся оолитовых или зернистых карбонатных отложений фосфатами морской воды [Mansfield G. R., 1931; Danglejan V. F., 1968; Pevear D. R., 1966]. Таким образом, замещение карбонатов фосфатами — вполне возможный и распространенный (особенно в диагенезе) в природных условиях процесс, однако его роль при формировании крупных месторождений не выяснена. Еще легче и эффективнее должно происходить замещение фосфатами сульфатов кальция.

В последнее время большинство исследователей приходит к выводу, что образование фосфоритов — многостадийный сложный процесс, протекающий под влиянием физико-химических, биологических и других факторов. Здесь не будем приводить детальную аргументацию за и против каждой из многочисленных гипотез происхождения фосфоритов, отметим лишь, что отдельные аспекты разных гипотез не обязательно противоречат друг другу. Одно и то же месторождение часто отвечает признакам различных генетических теорий, и истина может быть найдена, по-видимому, путем установления роли разных процессов и факторов при формировании месторождений.

ТИПЫ ФОСФОРИТОВ
И ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ

ТИПЫ ФОСФОРИТОВ

Фосфоритовые руды, используемые в промышленности, характеризуются широким диапазоном содержания P_2O_5 в течение времени наряду с рудами Каратау. Руды с содержанием P_2O_5 23—28% используются в качестве сырья для производства фосфорных удобрений с содержанием P_2O_5 5—10%.

Фосфоритовые руды разделяются на две основные группы — морского и континентального происхождения. Дальнейшее более детальное подразделение их по геотектоническим условиям, по текстурным признакам, главным образом по текстуре, по минеральному составу, по внешнему виду, определять типы фосфоритовых руд.

Микрозернистые фосфоритовые руды в СССР главным образом в Каратау, в которых небольших месторождений.

Микрозернистые фосфоритовые руды характеризуются следующими минеральными компонентами: фосфат, кальцит, кварц, полевые шпаты, железистые минералы. Химический состав (в %): MgO 0,5—4,5; CO_2 4—12; Fe_2O_3 0,5—1,5. Масса фосфата содержится в фосфатной фазе (0,1—0,2 мм), подчиненное количество — в кальците, кварце и халцедоне. В микрозернистых фосфоритовых рудах встречаются микровключения в фосфатных зернах. Кварц, полевые шпаты и гидроксиды встречаются в виде обломочных зерен. В зависимости от условий формирования и состава руд выделяются мономинеральные, кремнисто-кремнистые разновидности.

Афанитовые (тонкокристаллические) фосфоритовые руды встречаются в Каратау. Они характеризуются тонким зерном и содержат до 8—15% карбоната или кремнезема в виде примеси.

ТИПЫ ФОСФОРИТОВЫХ РУД И ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

ТИПЫ ФОСФОРИТОВЫХ РУД

Фосфоритовые руды, используемые в промышленности, характеризуются широким диапазоном по качеству. В настоящее время наряду с рудами Каратауского бассейна, содержащими 23—28% P_2O_5 , используются и бедные руды Прибалтийских месторождений с содержанием P_2O_5 5—6%.

Фосфоритовые руды разделяются на две основные генетические группы — морского и континентального происхождения с подразделением их по геотектонической и формационной приуроченности. Дальнейшее более дробное разделение на основные типы и разновидности руд проводится по петрографическим признакам, главным образом по текстурно-структурным особенностям и минеральному составу, позволяющим сравнительно легко, по внешнему виду, определять типы фосфоритов (табл. 2).

Микрозернистые фосфоритовые руды развиты в СССР главным образом в Каратауском бассейне, а также на некоторых небольших месторождениях Сибири.

Микрозернистые фосфоритовые руды представляют собой плотные крепкие плитчатые породы темно-серого цвета. Минеральный состав их: фосфат, кварц, халцедон, доломит, кальцит, в виде примеси отмечаются алюмосиликатные (гидромусковит, полевые шпаты), железистые (пирит, гидрогётит) и другие минералы. Химический состав (в %): P_2O_5 21—28; CaO 35—45, MgO 0,5—4,5; CO_2 4—12; Fe_2O_3 0,8—2,5; Al_2O_3 0,5—3,5. Основная масса фосфата содержится в фосфатных микрозернах и оолитах (0,1—0,2 мм), подчиненное количество — в виде цемента. Доломит и кальцит, кварц и халцедон слагают цемент породы, образуют микровключения в фосфатных зернах и выполняют прожилки. Кварц, полевые шпаты и гидрослюды присутствуют в виде обломочных зерен. В зависимости от количественных соотношений указанных минералов и их взаимопрорастания с фосфатом выделяются мономинеральные, кремнисто-карбонатные и глинисто-кремнистые разновидности.

Афанитовые (тонкокристаллические) руды, развитые на некоторых месторождениях Сибири, отличаются внутренней структурой. Они характеризуются тонким взаимопрорастанием фосфата с карбонатом или кремнеземом и невысоким содержанием P_2O_5 — 8—15%.

Промышленные типы фосфоритовых руд

Генетические группы месторождений			Типы и разновидности фосфоритовых руд		Характер продуктивных пластов		
Тип осадко-накопления	Геотектоническая приуроченность	Формационная приуроченность (формация, субформация)	Типы	Разновидности*			
Морские	Геосинклинальные	Кремнисто-карбонатная	Микрозернистые	Оолито-во-зернистые	Монофосфатные	Один или несколько пластов мощностью 10—30 м	
					Карбонатно-кремнистые		
					Глинисто-кремнистые		
				Афанитовые	Карбонатные	Пачки тонкопереслаивающихся фосфоритов, доломитов, известняков	
		Платформенные	Терригенно-карбонатная	Зернистые		Монофосфатные	Несколько (2—8) сближенных пластов мощностью 0,5—3 м
						Карбонатные, мергелистые	
					Песчанистые, кварцевые		
			Органогенно-терригенная	Ракушняковые		Песчанистые, кварцевые	Пласты (1—4 м) песков и песчаников с обломками фосфатных раковин
					Карбонатно-кварцевые		
			Глауконито-терригенная	Желваковые (конкреционные)		Глауконит-кварц-глинистые	Желвачно-плитные слои (0,3—1,5 м) в кварц-глауконитовом песке
					Кварц-глауконитовые		
					Кварцевые		

* Названия даны по основным минералам, сопутствующим фосфату.

Минеральный состав руд		Содержание
главные	второстепенные	
Фосфат, кварц, халцедон, доломит, кальцит	Алюмосиликатные и железистые минералы	28
		20
Фосфат, доломит, кальцит, халцедон	Глинистые минералы	8
Фосфат, доломит, кварц	Глинистые минералы	30
		22
		5
Фосфат, кварц, доломит	Железистые минералы	3
		3
Фосфат, кварц, глауконит	Глинистые и железистые минералы	7
		8
		5

Характер продуктивных пластов	Минеральный состав руд		Содержание P_2O_5 в рудах			Примеры месторождений
	главные	второстепенные	минимальное	максимальное	среднее	
Один или несколько пластов мощностью 10—30 м	Фосфат, кварц, халцедон, доломит, кальцит	Алюмосиликатные и железистые минералы	28	36	29	Джанатас, Кокджон (СССР)
			20	27	22—24	Аксай, Джанатас, Коксу, Кокджон, Чулактау (СССР)
			15	22	16—17	Джанатас, Коксу (СССР)
Пачки тонкопереслаивающихся фосфоритов, доломитов, известняков	Фосфат, доломит, кальцит, халцедон	Глинистые минералы	8	20	10—15	Тамалыкское, Белкинское (СССР), Хубсугульское (МНР)
Несколько (2—8) сближенных пластов мощностью 0,5—3 м	Фосфат, доломит, кварц	Глинистые минералы	30	38	32—35	Марокко
			22	30	24—27	Сафага, Эль-Махамид (АРЕ)
			5	15	10	Риватское, Гулиобское (СССР)
Пласты (1—4 м) песков и песчаников с обломками фосфатных раковин	Фосфат, кварц, доломит	Железистые минералы	3	12	6—7	Кингисеппское (СССР)
			3	20	10—12	Маарду, Тоолсе (СССР)
Желвачно-плитные слои (0,3—1,5 м) в кварц-глауконитовом песке	Фосфат, кварц, глауконит	Глинистые и железистые минералы	7	18	12—14	Вятско-Камское (СССР)
			8	16	12—14	Егорьевское (СССР)
			5	13	10—11	Полнинское, Актюбинское (СССР)

Генетические группы месторождений			Типы и разновидности фосфоритовых руд		Характер продуктивных пластов
Тип осадко-накопления	Геотектоническая причастность	Формационная приуроченность (формация, субформация)	Типы	Разновидности*	
Континентальные	Кора выветривания	Остаточно-метасоматические		Рыхлые и каменные	Залежи сложной формы на площадях развития фосфатсодержащих карбонатных пород
					Залежи мощностью до 50 м на коралловых постройках
		Органогенные (гуано)			

Зернистые фосфоритовые руды в СССР известны только в Средней Азии и еще не имеют промышленного значения. Наиболее широко они развиты на месторождениях Северной Африки (Марокко, Алжир, Тунис, Египет) и Восточного Средиземноморья (Сирия, Иран, Ирак, Израиль, Турция). По внешнему виду зернистые фосфориты напоминают разнотернистые песчаники и пески. Фосфатные компоненты представлены зернами размером от 0,1 до 3—10 мм и органогенным материалом, состоящим из обломков фосфатных раковин, костей и зубов рыб. Зернистый фосфатный материал составляет 50—80% породы, содержание органогенных обломков непостоянно и колеблется от 1—2 до 20—30%. Цемент карбонатный, кремнистый или кремнисто-карбонатный, иногда с примесью глинистого вещества, что в основном и определяет разделение руд на минералогические разновидности.

Фосфоритовые руды ракушняковые развиты на месторождениях Прибалтийского бассейна и в Сибири (Гурьевское месторождение). Они представляют собой рыхлые или слабо цементированные породы, состоящие из обломочных зерен кварца, целых створок и обломков фосфатных раковин брахиопод рода *Obolus* или *Lingula*, иногда сцементированных карбонатным или кремнисто-карбонатным цементом. Содержание фосфатного раковинного материала в рудах колеблется от 10—12 до 70—80%, что и определяет изменение качества фосфоритов (P_2O_5 от 4 до 28%). Наиболее качественны оболочковые ракушечники, состоящие из тесно сгруженных, преимущественно целых створок раковин, сцементированных доломитом. В фосфоритных песках и песчаниках раковинного материала меньше, присутствует он в основном в виде мелких обломков, соизмеримых по размерам с кварцевым материалом.

Минеральный состав руд		Содержание
главные	второстепенные	
Фосфаты кальция, реже алюмо- и железосодержащие, глинистые минералы	Кварц, полевые шпаты и др.	

Желваковые фосфориты являются многочисленными в основном Казахстане месторождениями различной степени окатанности. Размеры зерен от 0,5 до 5, редко до 10—15 см и песчано-мергелистых пород представляют собой фосфатные породы (чаще ауцелл и аммонитовые) вмещающей породы. Срастаются между собой в плитный слой. Фосфориты содержат фосфат, содержащего примесью зерен обломочного и органогенных минералов (глаукофанит).

В зависимости от состава фосфоритов выделяют кварц-глаукофанитовую и глаукофанит-кварц-глинистую разновидности. В исходной руде 12—14% фосфора, в виде фосфатной разновидности — 8—10%. Качественно из руд кварц-глаукофанитовой разновидности, характеризующейся содержанием P_2O_5 21,5—22,5; Fe_2O_3 3,4—4,5%, в виде фосфатной разновидности желваковых фосфоритов содержание фосфора после обогащения содержится 2,5—2,8.

Фосфоритовые руды отличаются физико-механическими свойствами. Рыхлые фосфориты пред-

Характер продуктивных пластов
Залежи сложной формы на площадях развития фосфатсодержащих карбонатных пород
Залежи мощностью до 50 м на коралловых постройках

Минеральный состав руд		Содержание P_2O_5 в рудах			Примеры месторождений
главные	второстепенные	минимальное	максимальное	среднее	
Фосфаты кальция, реже алюмо- и железосодержащие, глинистые минералы	Кварц, полевые шпаты и др.	8	25	10—20	Теннесси, Флорида (США), Ашинское, Белкинское, Телекское (СССР)
		5	40	12—20	Океанические острова

в СССР известны вышленного значения. восточного Средиземно-). По внешнему виду истые песчаники и зернами размером лом, состоящим из ов рыб. Зернистый породы, содержание лется от 1—2 до 20— кремнисто-карбонат-а, что в основном и вке разности.

е развиты на м- Сибиря (Гурьевское итые или слабо- очных зерен кварца, ие брахипод рода ил карбонатным или е фосфатного рако- 12 до 70—80%, что (P_2O_5 от 4 до 28%). а, состоящие из тес- ок раковин, сцемен- ат и песчаниках ра- в основном в виде с кварцевым мате-

Желваковые фосфоритовые руды развиты на до- вольно многочисленных в европейской части СССР и Северо-За- падном Казахстане месторождениях. Это шероховатые или в раз- личной степени окатанные фосфоритные конкреции размером от 0,5 до 5, редко до 10—15 см, сгруженные в песчано-алевритовых и песчано-мергелистых породах. Нередко фосфоритные конкреции представляют собой фосфатизированные ядра различных моллюс- ков (чаще ауцелл и аммонитов). Степень насыщенности конкре- циями вмещающей породы различна, в ряде случаев конкреции срастаются между собой в плотную плиту, образуя желваково- плитный слой. Фосфориты состоят из раскристаллизованного фосфата, содержащего примеси глинистого вещества, цементиру- ющего зерна обломочного материала (кварц, халцедон) и аути- генных минералов (глаукоцит и др.).

В зависимости от состава нефосфатных примесей среди желва- ковых фосфоритов выделяются три разновидности: кварцевая, кварц-глаукоцитовая и глаукоцит-кварц-глинистая. Наиболее бо- гатая глаукоцит-кварц-глинистая разновидность: содержание P_2O_5 в исходной руде 12—14%, в исходной же руде кварцевой разно- видности — 8—10%. Качество первичного концентрата, получен- ного из руд кварц-глаукоцитовой и глаукоцит-кварц-глинистой разновидностей, характеризуется следующими данными (в %): P_2O_5 21,5—22,5; Fe_2O_3 3,4—7,1; CO_2 4—5,7. Для кварцевой разно- видности желваковых фосфоритовых руд в концентрате первично- го обогащения содержится (в %): P_2O_5 16—18; Fe_2O_3 2—3; CO_2 2,5—2,8.

Фосфоритовые руды коры выветривания по фи- зико-механическим свойствам разделяются на рыхлые и каменистые. Рыхлые фосфориты представляют собой песчаные

нистую пестроокрашенную сыпучую породу, состоящую из разного по составу и крупности материала. Каменистые фосфориты — твердые, крепкие, по внешнему виду напоминают кварцит, кремль, яшму, алевролиты, мел и другие породы. Они обычно залегают среди рыхлых фосфоритов в виде обломков, изредка слагают тела разнообразной формы размером до нескольких сот кубических метров. По составу среди каменистых фосфоритов различают мономинеральные, глинистые, кремнистые и переходные между ними разновидности. Рыхлые фосфоритовые руды почти на всех известных месторождениях кремнисто-глинистые; содержат 15—20, реже 20—30% P_2O_5 . На большинстве месторождений они состоят из минералов группы апатита и лишь на некоторых (Сенегал, Нигерия, верхние горизонты месторождений Флориды) сложены алюмо- и железофосфатами. Для этих руд характерно высокое содержание в них мелких частиц, представленных глинистыми минералами и гидрогетитом, с которыми связана некоторая, а иногда и значительная часть (до 50%) фосфатов.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ФОСФОРИТОВЫХ РУД

Большинство фосфоритовых руд не соответствует техническим условиям по содержанию полезного компонента и поэтому нуждается в предварительном обогащении с получением кондиционного концентрата, пригодного для последующей переработки на экстракционную или термическую фосфорную кислоту, удобрения, кормовые фосфаты и прочие продукты.

Для производства фосфорной кислоты и удобрений, а также кормовых фосфатов из природного сырья в настоящее время используются монофосфатные (более 28,7% P_2O_5) разновидности микрозернистых фосфоритов Каратау. Из селективно отработываемых богатых руд месторождения Джанатас производится фосфоритная мука тонкого помола (28% P_2O_5), направляемая для экстракционной переработки с производством суперфосфата, двойного суперфосфата и аммофоса. В условиях ограниченных запасов богатых руд НИУИФ разработал новую технологию производства аммофоса непосредственно из рядовых карбонатно-кремнистых фосфоритовых руд (P_2O_5 не менее 24,5%, CO_2 не более 8%) каратауских месторождений.

Все микрозернистые оолитово-зернистые фосфориты месторождений Каратауского бассейна являются хорошим сырьем для производства желтого фосфора электротермическим способом. По условиям ведения технологического процесса электровозгонки фосфора к фосфоритам добавляются кварциты.

При обогащении фосфоритовых руд наиболее широко применяются методы механического отделения полезного компонента от минеральных примесей; из них наиболее проста и дешева классификация по гранулометрическому составу (сухой или мокрый рассев). Первичное обогащение методом гранулометрической классификации применяется главным образом к желваковым фосфори-

там, состоящим из обособленных ритных конкреций, сгруженных дах. В случае цементации конвестковым или глинисто-кремнивичного обогащения руд указывается. Получаемый путем гранужелваковых фосфоритов так, размальывается на фосфориты, посредственного удобрения для вичного концентрата различно желваков: глинистые и глауков Егорьевского и Вятско-Камског 22—25% P_2O_5 , кварцевые (По дения) — 16—18%.

Более глубоким обогащением и электромагнитной сепарации могут быть получены продукты пригодные для переработки тодами.

Фосфоритовые руды зернистые месторождения Средней Азии (Р очень бедны P_2O_5 (5—15%) и ностью, хотя проведенные техни ли возможность получения из нческой классификации и флотации P_2O_5 21—25%, пригодных муки.

Сравнительно легко обогащаются Прибалтики, представленные руды бо цементированным песчаником фосфатными раковинами или из крупных обломков или целых руд вмещающего песка путем отсева держащих 21—28% P_2O_5 . Если ки к размерам зерен кварца, флотации с получением концентрат В песчано-карбонатных ракушчатое месторождение), где руды ломитовых песчаников, перед флотацией являются куски цементированной руды.

Наиболее трудно обогащаются фосфориты. Микрозернистые карбонатные фосфоритовые руды тонким взаимопроращением фосфоритом. В связи с этим при обогащении достигается лишь незначительное увеличение сравнению с исходной рудой (на часть фосфата (до 30—40%) тем ухудшает экономические показатели.

ую из разно-
фосфориты —
кварцит, кре-
обычно зале-
редка слагают
х сот кубиче-
итов различа-
еходные меж-
ды почти на
ые; содержат
рождений они
которых (Се-
ий Флориды)
уд характерно
ленных глини-
язана некото-
фатов.

ОСОВЫХ РУД

т техническим
поэтому нуж-
ем кондицион-
реработки на
у, удобрения,

ений, а также
шее время ис-
разновидности
вно отрабаты-
изводится фос-
авляемая для
осфата, двой-
иченных запа-
логию произ-
банотно-крем-
СО₂ не более

ты месторож-
рьем для про-
пособом. По
эктровозгонки

око применя-
омпонента от
ешева класси-
мокрый рас-
еской класси-

там, состоящим из обособленных, сравнительно крупных фосфоритных конкреций, сгруженных в рыхлых песчано-глинистых породах. В случае цементации конкреций известковым, глинисто-известковым или глинисто-кремнистым цементом возможность первичного обогащения руд указанным методом значительно снижается. Получаемый путем гранулометрической классификации из желваковых фосфоритов так называемый первичный концентрат размалывается на фосфоритную муку, используемую в качестве непосредственного удобрения для внесения в почву. Качество первичного концентрата различно и зависит от состава фосфоритных желваков: глинистые и глауконитовые разности, характерные для Егорьевского и Вятско-Камского месторождений, содержат до 22—25% Р₂О₅, кварцевые (Полпинское, Актюбинское месторождения) — 16—18%.

Более глубоким обогащением с применением обжига, флотации и электромагнитной сепарации из первичных концентратов могут быть получены продукты с содержанием Р₂О₅ до 28—29%, пригодные для переработки на удобрения кислотными методами.

Фосфоритовые руды зернистого типа в СССР развиты на месторождениях Средней Азии (Риватское, Гулиобское и др.), они очень бедны Р₂О₅ (5—15%) и пока не используются промышленностью, хотя проведенные технологические исследования показали возможность получения из них (с применением гранулометрической классификации и флотации) концентратов с содержанием Р₂О₅ 21—25%, пригодных для производства фосфоритной муки.

Сравнительно легко обогащаются ракушняковые фосфориты Прибалтики, представленные рыхлым кварцевым песком или слабо сцементированным песчаником с рассеянными обособленными фосфатными раковинами или их детритом. При наличии в песках крупных обломков или целых раковин они легко отделяются от вмещающего песка путем отсева с получением концентратов, сроки к размерам зерен кварца, применяется обогащение методом флотации с получением концентратов, содержащих 28—29% Р₂О₅. В песчано-карбонатных ракушняковых фосфоритах (Кингисеппское месторождение), где руды содержат включения крепких доломитовых песчаников, перед флотационным обогащением отсеиваются куски цементированной породы.

Наиболее трудно обогащаются микрозернистые и афанитовые фосфориты. Микрозернистые (оолитово-зернистые) кремнисто-карбонатные фосфоритовые руды Каратау характеризуются очень тонким взаимопроращением фосфата с карбонатом и кремнеземом. В связи с этим при обогащении флотационным методом достигается лишь незначительное повышение Р₂О₅ в концентрате по сравнению с исходной рудой (на 3—6%). При этом значительная часть фосфата (до 30—40%) теряется с отходами, что резко

сть обогащения
ностей руд это-
окислов каль-
и обогатимости
е сложная ком-
м фотометриче-
тации, позволя-
тва. В связи с
гау основная их
одства фосфора

не разрабаты-
кига и флотации
елкинское место-
них кондицион-
стей руд с повы-
дного обжига не-
наются, как пра-

ЕМЫЕ ИТОВЫХ РУД

Основное полез-
ных получают фос-
я получения так-
льзоваться также
онитовые пески и
активным горизон-
асящих пигментов
жестких вод. Гли-
можно их приме-
гели, залегающие
ризонтом, пригод-
время Кировским
ость 30 тыс. т в

ду с разработкой
варц-глауконито-
ду фосфоритными
Запасы P_2O_5 в
и, т при 36 млн. т
форитных слоях;
о вскрыше верх-
ых; по одному из
дсчитаны запасы
ет организовать
нит, получаемый

попутно при обогащении фосфоритовых руд; он применим в лако-красочной промышленности и для смягчения жесткости воды.

Месторождения Прибалтики. Сырьем для попутного употребления на месторождениях Маарду и Тоолсе могут быть известняки, глауконитовые песчаники, диктионемовые сланцы, покрывающие фосфоритовые руды. В настоящее время частично применяются известняки: на месторождении Маарду для изготовления щебенки, на месторождении Тоолсе — портландцемента. Намечается использовать глауконитовые песчаники для производства красителей. Диктионемовые сланцы являются ценным сырьем для металлургической переработки с попутным извлечением из них золы молибдата аммония, пятиоксида ванадия и других компонентов. Но в настоящее время технологии получения редких элементов из золы диктионемовых сланцев и красителя из глауконитовых песчаников разработаны только в лабораторных и стендовых условиях, чего недостаточно для промышленного проектирования.

На Кингисеппском месторождении отходы обогатительной фабрики (хвосты) намечено использовать для производства стекла и кварцевого абразива для бытовой химии.

Месторождения Каратауского бассейна. Фосфатное сырье Каратау в настоящее время применяется промышленностью для производства кормовых фосфатов, простого и двойного суперфосфата, экстракционной и термической фосфорной кислоты, на основе которой производятся технические фосфаты и удобрения. Фосфоритные пласты основных месторождений Каратау разделены пачкой фосфатно-глинисто-кремнистых сланцев мощностью до 10—25 м, представляющих собой в одних случаях бедные, некондиционные по содержанию P_2O_5 забалансовые фосфоритовые руды, в других — фосфатно-кремнистое сырье. Почти на всех месторождениях Каратау в подошве фосфоритов развиты фосфатсодержащие кремни, пригодные в качестве флюсовой добавки на заводах по производству желтого фосфора.

ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ ПРОМЫШЛЕННОСТИ К ФОСФОРИТОВЫМ РУДАМ

Фосфоритовые руды служат сырьем для получения элементарного фосфора и различных его соединений, употребляемых в химической, пищевой промышленности, металлургии и других отраслях народного хозяйства. Подавляющее количество фосфорсодержащих продуктов применяют в виде фосфорных и сложных удобрений.

Разложение природных фосфатов осуществляется тремя путями: термическое восстановление, термическая переработка без восстановления и разложение кислотами. При термическом восстановлении желтый фосфор получают нагреванием до 1400—1600°C природных фосфатов с коксом и двуокисью кремния.

Желтый фосфор идет для получения фосфорной кислоты, красного фосфора и многих других соединений.

При термической переработке без восстановления получают термофосфаты, плавленные фосфаты и обесфторенные фосфаты. Термофосфаты являются продуктами спекания природных фосфатов со щелочными соединениями. Плавленные фосфаты образуются при сплавлении фосфатного сырья с силикатами магния. Термофосфаты и плавненные фосфаты, содержащие от 20 до 34% усвояемой P_2O_5 , употребляются в качестве фосфорных удобрений. Обесфторенные фосфаты, получаемые из природных фосфатов при высокой температуре в присутствии паров воды и небольшого количества двуоксида кремния, используются в качестве подкормки для скота и птицы.

Кислотный (химический) способ переработки природных фосфатов наиболее распространен при получении минеральных удобрений. Сущность метода заключается в разложении сырья серной, фосфорной, азотной и соляной кислотами. При этом трудно растворимые и плохо усвояемые растениями природные соединения фосфора переходят в более растворимые в почве и, следовательно, легко усвояемые растениями фосфорнокислые соли. Все минеральные удобрения по степени растворимости делятся на три группы: 1) водорастворимые, наиболее легко усвояемые — суперфосфат, двойной суперфосфат, аммофос, нитрофос, нитрофоска и др.; 2) не растворимые в воде, но цитратно- и лимоннорастворимые — преципитат, томас-шлак, мартеновский фосфатшлак, термические фосфаты; 3) труднорастворимые — фосфоритная и костяная мука. По размерам производства и потребления преобладают водорастворимые удобрения, получаемые при химическом способе переработки природных фосфатов. Из них наиболее широко распространены растворимые удобрения — простой суперфосфат, двойной суперфосфат и сложные удобрения: аммофос, нитрофос, нитрофоска и другие, характеризующиеся различным содержанием питательных веществ.

Суперфосфат — простой и двойной — представляет собой однородное фосфорное удобрение с содержанием усвояемой P_2O_5 от 12—20 до 45—50%. Получение его осуществляется обработкой сырья серной (простой суперфосфат) и фосфорной (двойной суперфосфат) кислотами. Наиболее высококонцентрированными являются сложные комплексные удобрения — аммофос, нитрофос, нитрофоска, содержащие, кроме фосфора, калий и азот. Общее содержание питательных веществ в них 50—60%. Для их получения производится разложение фосфатов азотной кислотой или ее смесью с другими кислотами (серной и фосфорной), а также с сульфатом аммония, сульфатом калия и хлористым калием.

При кислотной переработке получают также фосфорную кислоту, которая применяется для производства концентрированных удобрений. Наряду с довольно трудоемкими — химическим и тер-

шей стране широко применяется в измельчении прирочной фосфоритной муки, а на подзолистых почвах с

Способ переработки фосфатов с учетом особенностей определения пригодности к требованиям по содержанию SiO_2 , крупности и влажности фосфорной продукции для компонентов (Fe_2O_3 , MgO , P_2O_5) (табл. 3). Наряду с табл. 3 указаны требования, выданными комбинатами, что при фосфоритовых руд.

Использование сырья с повышенным содержанием азота при уменьшении расхода кислоты и качества продукции и, как

Для производства фосфоритной муки показателем является содержание P_2O_5 первого — 30—35%, не менее 19%. Для получения а только те фосфориты, которые в лимоннорастворимой форме агрохимической эффективности отвечают лишь желваковым ракушняковым и фосфоритам

В сырье, используемом для простого и двойного), при содержании CO_2 (не более 5—6%) [Требования промышленной кислотной переработки фосфоритов Прибалтики на концентрат ограничивается также содержанием CO_2 (6—8%) и потерями более 3%).

Фосфатное сырье, используемое для получения фосфора методом электролиза, должно содержать определенное количество Fe_2O_3 (не более 23—25%), Fe_2O_3 (не более 23—25%), Fe_2O_3 (не более 23—25%) к общему составу (10—50 мм)

Для фосфатного сырья в соответствии с требованиями (ОСТ 6—25—19—74) содержание P_2O_5 должно быть не менее 25—30%, значение

ты, красно-

получают фосфаты. ных фосфатов образуются. Тер- до 34% удобрений. фосфатов небольшого подкорм-

одных фос- ьных удоб- рья серной, трудно рас- соединения ледователь- ни. Все ми- тся на три ые — супер- фоска и др.; творимые — термические таяная мука. ают водо- способе пе- око распро- сфат, двой- трофос, нит- одержанием

собой оди- ой P_2O_5 от обработки двойной су- анными яв- нитрофос, зот. Общее их получе- той или ее а также с аллем.

ную кисло- ированных ким и тер- ний в на-

шей стране широко применяется механический способ. Он заключается в измельчении природных фосфоритов до получения тонкой фосфоритной муки, которая употребляется преимущественно на подзолистых почвах с повышенной кислотностью.

Способ переработки фосфатного сырья определяется его качеством и особенностями минерального состава. Для оценки и определения пригодности к фосфатному сырью предъявляются требования по содержанию P_2O_5 , Fe_2O_3 , CaO , Al_2O_3 , MgO , CO_2 , SiO_2 , крупности и влажности. Для производства некоторых видов фосфорной продукции лимитируется не абсолютное содержание компонентов (Fe_2O_3 , MgO , SiO_2), а отношение их к содержанию P_2O_5 (табл. 3). Наряду с Государственными стандартами в табл. 3 указаны требования к сырью, разработанные конкретными комбинатами, что определяется особенностями добываемых фосфоритовых руд.

Использование сырья с пониженным содержанием P_2O_5 и повышенным содержанием вредных компонентов приводит к увеличению расхода кислоты или электроэнергии, а также к снижению качества продукции и, как следствие этого, к ее удорожанию.

Для производства фосфоритной муки содержание P_2O_5 является основным показателем пригодности сырья. По ГОСТу 5716—65 фосфоритная мука высшего сорта должна содержать не менее 30% P_2O_5 , первого — 30—25%, второго — 25—22% и третьего — не менее 19%. Для получения фосфоритной муки пригодны не все, а только те фосфориты, которые содержат более 25 отн. % P_2O_5 в лимоннорастворимой форме, служащей косвенным показателем агрохимической эффективности фосфоритов. Этому требованию отвечают лишь желваковые фосфориты, некоторые разновидности ракушняковых и фосфориты коры выветривания.

В сырье, используемом в производстве суперфосфата (простого и двойного), при содержании 28—32% P_2O_5 лимитируется количество CO_2 (не более 5—6%) и отношение MgO и Fe_2O_3 к P_2O_5 [Требования промышленности к фосфатному сырью, 1959]. При кислотной переработке фосфатного сырья Каратау и месторождения Прибалтики на концентрированные и сложные удобрения ограничивается также содержание MgO (не более 2,2—3,5%), CO_2 (6—8%) и полуторных окислов ($Al_2O_3 + Fe_2O_3$ не более 3%).

Фосфатное сырье, используемое для производства желтого фосфора методом электровозгонки, по ГОСТу должно соответствовать определенным требованиям по содержанию P_2O_5 (23—25%), Fe_2O_3 (не более 3%), CaO (35—45%), гранулометрическому составу (10—50 мм) и влажности (3%).

Для фосфатного сырья Каратау эти требования неприемлемы, поэтому специально разработаны отраслевые стандартные требования (ОСТ 6—25—19—74): содержание P_2O_5 18—21%; SiO_2 25—30%, значение универсального комплексного показателя $УКП = 3,7 P_2O_5 + 1,1 (SiO_2 + Al_2O_3) - 3,5 (Fe_2O_3 - 2,0)$ не менее 100—105. гранулометрический состав и влажность не менее

Технические требования к фосфатному сырью

Показатели	При производстве фосфоритной муки, ГОСТ 5716-74	При кислотной	
		суперфосфата простого и двойного [Шершевский А. И., 1959]	двойного суперфосфата ТУ 6-12-85-75*
Содержание P_2O_5 , %, не менее	19-30	28-32	28
„ CO_2 , %, не более	—	5-6	6,0
„ CaO , %, в пределах	—	—	—
„ MgO , %, не более	—	—	2,5
„ Fe_2O_3 , %, не более	—	—	—
„ $R_2O_3 (Al_2O_3 + Fe_2O_3)$, %, не более	—	—	3,0
„ нераств. остатка, %, в пределах	—	—	—
Содержание $SiO_2 + Al_2O_3$, %, не более	—	—	—
$\frac{\% MgO}{\% P_2O_5} \cdot 100$, не более	—	5-8	—
$\frac{\% Fe_2O_3}{\% P_2O_5} \cdot 100$, не более	—	8	—
$\frac{\% SiO_2}{\% P_2O_5} \cdot 100$, не более	—	—	—
Показатель $3,7 P_2O_5 + 1,1 (SiO_2 + Al_2O_3) - 3,5 (Fe_2O_3 - 2,5)$, не менее	—	—	—
Ситовой состав фосфоритов, мм	Не более 0,18	—	Не более 0,18
Содержание мелочи по массе, %, не более	—	—	—
Остаток на сите, %, не более	10	—	20

* для концентрата ракушняковых фосфоритов комбината «Фосфорит», ** — для

вии с ГОСТом. Эти технические условия составлены с учетом особенностей фосфоритных руд Каратау, и потому их лишь условно можно распространить на фосфатное сырье других месторождений.

Иногда при производстве желтого фосфора в сырье наряду с содержанием P_2O_5 (18-21%) и Fe_2O_3 (3-3,5%) лимитируется также кислотный модуль $\left(\frac{\% SiO_2 + Al_2O_3}{\% CaO + MgO} \right)$, значение которого не должно превышать 0,8-1 [Шершевский А. И., 1959]. В сырье для термических фосфатов (термофосфатов, кальциево-магниевых и обесфторенных) ограничивается содержание P_2O_5 (23-25%) и нерастворимого остатка. Для фосфатного сырья Каратау разработаны особые технические условия, по которым содержание P_2O_5 должно составлять не менее 26,7%, нерастворимого остатка 15-18%.

при производстве удобрений в фосфоритной муке

переработке	фосфорной кислоты, концентрированных удобрений**	
	МРТУ 6-12-12-66	ТУ 6-25-16-75
	28	24,5
—	8,0	
—	—	
2,2	3,5	
—	—	
—	—	
—	—	
—	—	
Не более 0,16	—	
—	—	
14	—	

фосфоритов Каратау.

Фосфатное сырье в промышленности подвергается измельчению, но размер зерна имеет существенного значения. Оптимальный размер зерна фосфора 35-40 мк, что определяет пределение шихты. При производстве фосфата и желтого фосфора (3-15%).

К фосфоритам, обогащаемым фосфором, предъявляются требования по содержанию мелочи, возник в последние годы в связи с сухого обогащения одного

при производстве удобрений и фосфора

переработке	При производстве термических фосфатов				При производстве желтого фосфора	
	фосфорной кислоты, концентрированных удобрений**		Са—Mg плавленных фосфатов и др. [Шершевский А. И., 1959]	обесфторенных кормовых фосфатов ТУ 6-25-8 74**	ГОСТ 11901-66	ОСТ 6-25-19-74**
	МРТУ 6-12-12-66	ТУ 6-25-16-75				
—	28	24,5	23—28	26,7	23—25,3	18—21
—	—	8,0	—	—	—	—
—	—	—	—	—	35—45	—
—	2,2	3,5	—	—	—	—
—	—	—	—	—	2,5—3,0	3,0—3,5
—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	15—18	—	25—30
—	—	—	—	—	—	25
—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	0,8	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	100—105
—	Не более 0,16	—	—	Не более 0,16	10—50	10—50
—	—	—	—	—	5% менее 10 мм	5% менее 10 мм
—	14	—	—	14	—	—

** — для

фосфоритов Каратау.

Фосфатное сырье в процессе химической переработки подвергается измельчению, но размер кусков исходного материала не имеет существенного значения. В производстве же желтого фосфора предъявляются требования к крупности сырья (10—50 мм) при содержании мелочи размером менее 10 мм не более 5—10%. Оптимальный размер кусков фосфоритов при производстве желтого фосфора 35—40 мм, что обеспечивает равномерное распределение шихты. При производстве фосфоритной муки, суперфосфата и желтого фосфора литимируется содержание влаги (3—15%).

К фосфоритам, обогащаемым сухим методом, предъявляются требования по содержанию хлора. Вопрос о его наличии в сырье возник в последние годы в связи с использованием концентратов сухого обогащения одного из зарубежных месторождений. Влияние

рудования обра-
в сырье, приме-
е должно превы-
фат допускается

фатному сырью
льзования фосфо-
я. Для этого не-
аний, позволяю-
м с учетом их
урно-структурных
к характеристик.

ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ МЕТОДИКИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И ПОИСКОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ФОСФОРИТОВЫХ РУД

Цель прогнозных исследований — научное обоснование планирования и размещения геологоразведочных работ и повышение эффективности последних. Основной задачей прогнозных исследований является классификация геологических объектов (геологических тел, площадей) по перспективности и выделение среди них перспективных на промышленные месторождения для последующей проверки геологоразведочными работами. Параллельно с этим решается задача по выявлению новых и уточнению известных закономерностей размещения месторождений фосфатного сырья.

В качестве научной основы прогнозных исследований принимается комплекс знаний о процессах образования и закономерностях размещения месторождений фосфатных руд. Основная задача поисковых работ — обнаружение и изучение проявлений и месторождений фосфатных руд с отбраковкой непромышленных и выделением промышленных для проведения разведочных работ.

В соответствии с подразделением геологоразведочного процесса на стадии стадия поисков месторождений полезных ископаемых следует вслед за стадией региональных геологосъемочных и геофизических работ и предшествует стадии предварительной разведки. Стадия поисков месторождений полезных ископаемых разделяется на три подстадии: общие поиски с выделением перспективных площадей и определением прогнозных запасов; детальные поиски с подсчетом прогнозных запасов на конкретных участках; поисково-оценочные работы с оценкой выявленных проявлений. Общие поиски (первая подстадия) проводятся на основе геологических и прогнозных карт масштаба 1 : 200 000—1 : 50 000 с применением геофизических, геохимических методов и необходимых объемов буровых и горных работ. В результате общих поисков дается оценка перспектив изучаемой территории и выделяются конкретные площади и участки для детальных поисков.

Детальные поиски проводятся в пределах выделенных перспективных площадей при помощи горных и буровых работ с обязательным применением полевых и скважинных геофизических и геохимических методов и составлением схематических геологических карт масштаба 1 : 10 000—1 : 5 000. В результате детальных поисков производится оценка перспектив исследуемых площадей

лений минерального сырья, заслуживающих дальнейшей оценки.

Поисково-оценочные работы (третья подстадия) проводятся с целью изучения выявленных проявлений полезных ископаемых в основном посредством горных и буровых работ, а также определения качества полезного ископаемого по бороздовым и керновым пробам. При этом широко используются геофизические и геохимические методы. В зависимости от сложности геологического строения месторождения поисково-оценочные работы сопровождаются составлением схематических геологических карт в масштабе 1 : 10 000—1 : 2 000. По итогам поисково-оценочных работ определяются прогнозные запасы и частично запасы категории С₂ и выделяются месторождения под предварительную разведку.

Прогнозные исследования могут производиться на разных стадиях геологоразведочного процесса, начиная с региональных геологосъемочных и геофизических работ. Они, как правило, должны предшествовать поисковым работам подстадий общих и детальных поисков. Таким образом, прогнозные и поисковые исследования составляют единый комплекс работ в геологоразведочном процессе, конечная цель которого — выявление, перспективная оценка и подготовка к разведке промышленных месторождений фосфатных руд.

На основе существующего положения о стадийности геологоразведочных работ и с учетом сложившейся практики проведения металлогенических и прогнозных исследований можно принять следующую группировку прогнозных карт: обзорные (масштаба 1 : 2 500 000 и мельче), мелкого масштаба (1 : 1 500 000—1 : 500 000), региональные, или среднего масштаба (1 : 200 000—1 : 100 000) и локальные, или крупного масштаба (1 : 50 000 и крупнее). Соответственно этому различают обзорное, региональное и локальное прогнозирование [Аристов В. В., 1975]. Таким образом, прогнозные исследования по масштабу составляемых прогнозных карт образуют свою последовательность, которая в определенной мере повторяет последовательность первых двух стадий геологоразведочного процесса.

ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ФОСФОРИТОВЫХ РУД

Методические приемы выполнения прогнозных исследований видоизменяются в зависимости от масштаба составляемых прогнозных карт, типа или типов ожидаемых месторождений фосфатного сырья, особенностей геологического строения изучаемой площади, степени изученности последней, характера используемых материалов и других факторов. Каждый тип месторождений фосфатного сырья характеризуется определенным комплексом закономерностей размещения и набором критериев, используемых при прогнозировании. По указанным причинам жесткая регламентация и шаблон при прогнозных исследованиях недопустимы. Общими являются лишь основные принципы, последовательность работ,

методы анализа материалов в дики. Применительно к каждому виду фосфатного сырья и к каждому строению все эти общие принципы и свою специфику рассматриваются в последующих главах, посвященных месторождений фосфатного сырья.

Прогнозные и металлогенические исследования базируются на методах металлогенического анализа с помощью которого можно оценить перспективы прогнозирования их геологического строения в пределах изучаемого района. В спективе рудного района в более изученными рудными районами.

Метод аналогии предполагает «рудноносной» объекта (месторождения, формации и др.), с которой сравнивается территория, с эталонными объектами сходства с ним (с ними) степени сходства — перспективны.

В соответствии с принципом либиум, который использует для исследований и прогнозирования образования месторождений в ют собой одну из сторон единого процесса развития земной коры. В теснейшим образом взаимосвязанным образом процесса, то есть с осадочными процессами, магматической деятельностью (с. 15]. В соответствии с этим в исследованиях положен металлогенический анализ. В первом важнейшем этапе исследований выполняется геологического строения и истории развития геологических процессов, обуславливающих образование рудных месторождений. Проводится расчленением геологических тел: структурно-формационных и т. д. и выделением из них основных классов по степени их формирования, палеотектоническими методами. Непосредственно для прогнозной оценки осуществляется металлогенический анализ. Результаты данного этапа являются на минерагенической основе.

ей оценки.
оводятся с
ископаемых в
же опреде-
и керно-
ские и гео-
логического
опровождая
в масшта-
работ опре-
тории С₂ и
едку.

азных ста-
льных гео-
ло, должны
детальных
следования
ом процес-
а оценка и
фосфатных

и геолого-
проведения
о принять
(масштаба
1 500 000—
: 200 000—
: 50 000 и
иональное
ким обра-
мых про-
ая в опре-
ух стадий

ЕНИИ

ледований
мых про-
й фосфат-
емой пло-
уемых ма-
й фосфат-
законо-
емых при
ментация
Общими
ь работ,

методы анализа материалов и некоторые другие положения мето-
дики. Применительно к каждому определенному типу месторож-
дений фосфатного сырья и к площади с определенным геологиче-
ским строением все эти положения приобретают конкрет-
ное содержание и свою специфику, которые рассматриваются в
последующих главах, посвященных соответствующим типам мес-
торождений фосфатного сырья.

Прогнозные и металлогенические исследования в большинстве
случаев базируются на методе аналогии. Е. Т. Шаталов с соавто-
рами [Основные принципы составления..., 1964] определяет метод
металлогенического анализа рудоконтролирующих факторов сле-
дующим образом: «Метод включает в себя широкое применение
оценки перспектив прогнозируемых площадей на основании ана-
логии их геологического строения с известными рудными участ-
ками в пределах изучаемого района или, если оцениваются пер-
спективы рудного района в целом, на основании их аналогии с
более изученными рудными районами» (с. 62).

Метод аналогии предполагает выбор или определение эталона
«рудоносного» объекта (месторождения, продуктивной фосфато-
носной формации и др.), сравнение объектов, выделенных на изу-
чаемой территории, с эталоном (эталонами), установление степе-
ни сходства с ним (с ними) и классификацию этих объектов по
степени сходства — перспективности.

В соответствии с принципом историзма, выдвинутым Ю. А. Би-
либиным, который используется в основе металлогенических ис-
следований и прогнозирования рудных месторождений, процессы
образования месторождений полезных ископаемых «...представля-
ют собой одну из сторон единого и сложного геологического про-
цесса развития земной коры. В своем историческом развитии они
теснейшим образом взаимосвязаны с другими сторонами этого же
процесса, то есть с осадконакоплением, тектоническими движе-
ниями, магматической деятельностью и метаморфизмом» [1955,
с. 15]. В соответствии с этим принципом в основу прогнозных
исследований положен металлогенический, а применительно к не-
рудным полезным ископаемым его аналог — минерагенический
анализ. В первый важнейший этап металлогенических и прогноз-
ных исследований выполняется тщательный анализ геологическо-
го строения и истории развития изучаемого района, а также гео-
логических процессов, обусловивших оруденение. Этот анализ со-
провождается расчленением геологического пространства на от-
дельные тела: структурно-формационные комплексы, формации
и т. д. и выделением из них подлежащих прогнозной оценке —
классификации по степени перспективности. Анализ выполняется
формационным, палеотектоническим, литолого-фациальным и дру-
гими методами. Непосредственное выделение геологических тел
для прогнозной оценки осуществляется при минерагеническом ана-
лизе. Результаты данного этапа прогнозных исследований отра-
жаются на минерагенической карте, имеющей в большинстве слу-
чаев структурно-формационную основу.

Первый этап подготавливает необходимую базу для выполнения второго этапа прогнозных исследований, сущность которого заключается в проведении прогнозной оценки, т. е. в определении степени перспективности геологических объектов и выделении из них подлежащих проверке поисковыми работами. Второй этап прогнозных исследований завершается составлением прогнозной карты.

Таким образом определяется общий комплекс работ в составе прогнозных исследований, состоящий из следующих взаимосвязанных между собой операций: 1) изучение и анализ имеющейся геологической информации по району исследований, выбор необходимой для минерагенического анализа и прогнозной оценки; 2) анализ данных о месторождениях фосфатных руд и закономерностях их размещения; выбор и формирование типовых моделей (эталонов), соответствующих объектам прогнозирования (типовых месторождений, типовых продуктивных фосфатоносных формаций), представляющих собой отбор их признаков и прогнозных критериев, которые будут применяться при оценке степени перспективности; 3) построение вспомогательных графических материалов, содержащих графическое отображение результатов выполнения операции 1; составление кадастра; 4) проведение полевых работ с целью получения дополнительных, недостающих для решения задач прогнозирования фактических данных; 5) уточнение результатов операций 1—3; минерагенический анализ, выделение геологических объектов для прогнозной оценки, составление минерагенической карты (или соответствующего ей эквивалента); 6) сравнение выделенных геологических объектов (тел, площадей) с эталонами, определение степени перспективности этих объектов; подсчет прогнозных запасов; 7) геолого-экономическая оценка и определение видов и объемов геологоразведочных работ по перспективным площадям, составление прогнозной карты и объяснительной записки к ней.

Операции 1—5 относятся к первому, а операции 6 и 7 — к второму этапу прогнозных исследований. Операции 1, 2, 3 выполняются параллельно; остальные — в приведенной последовательности. В зависимости от сложности и особенностей геологического строения конкретного района прогнозирования, объемов и видов ранее проведенных работ, масштаба составляемой прогнозной карты и других факторов содержание и объем работ при выполнении каждой операции прогнозных исследований могут изменяться, а некоторые из них, например полевые исследования, иногда выпадать целиком.

Хотя все виды работ, составляющих операции прогнозных исследований, тесно взаимосвязаны, в общем их комплексе можно выделить ту часть, которая относится непосредственно к составлению вспомогательных графических материалов, а также минерагенической и прогнозной карт и представляет собой графическое отображение результатов различных операций прогнозных исследований [Основные принципы составления..., 1964].

Операция 1. Включает анализ формации по изучаемому району для минерагенического анализа методами анализа протекторно-формационный, литолого-фациальный. «Особую роль формационный анализ при составлении прогнозных карт позволяет создать для последующей научной отображающей карты и времени парагенных геологических структур, контрольных групп месторождений. Формационный анализ является основой прогнозов» [Щеглов А. Д., 1976, с. 1].

Формационный анализ проводится на основе имеющихся материалов о составе и строении образований. В полном объеме проводится к следующему [Основные принципы..., 1974].

1. Расчленение геологической структуры исследований, с выделением комплекса признаков или ассоциаций — геологических формаций.

2. Определение пространственного положения формации, картирование ее в разрезе (современный или дочетвертичный).

3. Определение геологического возраста формации с одновозрастными образованиями (синхронности, асинхронности).

4. Выяснение положения формации в пространстве (структурных элементов складчатости).

5. Изучение внутреннего строения формации, определения условий ее образования, литофации и определения ее литологического состава.

6. Систематическое описание формации: а) название (конкретной формации); б) пространственное положение; в) структурное положение; г) литолого-фациальный состав; д) литолого-фациальный комплекс полезных ископаемых; е) структурное положение. Описание проводится на этапах, стадиях и подстадиях развития формации.

7. Выделение структурно-формационных рядов и серий формаций, анализ с разделением по классам.

8. Анализ латеральных и вертикальных изменений формаций, возникшая за один этап.

для выполне-
ть которого
определении
ыделении из
второй этап
прогнозной

от в составе
взаимосвя-
в имеющейся
выбор необ-
ной оценки;
и закономер-
вых моделей
ния (типовых
ных форма-
и прогнозных
степеней пер-
ческих мате-
льтатов вы-
ение полевых
щих для ре-
5) уточнение
3, выделение
вление мине-
квивалента);
л, площадей)
их объектов;
кая оценка и
работ по пер-
ы и объясни-

и 6 и 7 — ко
, 2, 3 выпол-
следователь-
геологического
мов и видов
прогнозной
г при выпол-
ут изменять-
ания, иногда

огнозных ис-
лексе можно
по к состав-
также мине-
ной графиче-
прогнозных
64].

Операция 1. Включает анализ имеющейся геологической ин-
формации по изучаемому району и отбор необходимых материа-
лов для минерагенического анализа и прогнозной оценки. Основ-
ными методами анализа при прогнозных исследованиях являются
формационный, литолого-фациальный, палеотектонический и др.
«Особую роль формационный метод исследования приобретает
при составлении прогнозных и металлогенических карт, так как
позволяет создать для последних структурно-формационную осно-
ву, научно отображающую характер размещения в пространстве
и времени парагенных геологических образований. Это в свою
очередь приводит к более объективному выделению конкретных
геологических структур, контролирующих размещение тех или
иных групп месторождений. Поэтому можно утверждать, что фор-
мационный анализ является основой металлогенических исследо-
ваний» [Щеглов А. Д., 1976, с. 73].

Формационный анализ производится с использованием всех
имеющихся материалов о составе, строении и возрасте геологиче-
ских образований. В полном объеме формационный анализ сво-
дится к следующему [Основные принципы минерагенического ана-
лиза..., 1974].

1. Расчленение геологических образований, развитых на пло-
щади исследований, с выделением по наличию или отсутствию
комплекса признаков или определенных признаков породных ас-
социаций — геологических формаций.

2. Определение пространственного положения геологического
тела формации, картирование границ, выходящих на эрозионный
срез (современный или дочетвертичный, домезозойский и т. д.).

3. Определение геологического возраста формации, корреля-
ция с одновозрастными образованиями, выяснение возрастного ха-
рактера (синхронности, асинхронности) нижней и верхней границ.

4. Выяснение положения формации относительно крупных
структурных элементов складчатых и платформенных областей.

5. Изучение внутреннего строения тела формации с целью
определения условий ее образования, расчленения на субформа-
ции, литофаии и определения ее минерагенической специали-
зации.

6. Систематическое описание формаций по следующему пла-
ну: а) название (конкретной и абстрактной формации); б) рас-
пространение; в) структурное положение; г) возраст и объединяе-
мые регионально-стратиграфические подразделения; д) литолого-
петрографический состав; е) субформации, литофаии; ж) пара-
генный комплекс полезных ископаемых; з) принадлежность к
этапам, стадиям и подстадиям развития.

7. Выделение структурно-формационных комплексов, естест-
венных рядов и серий формаций по структурным элементам и их
анализ с разделением по классам и подклассам.

8. Анализ латеральных и вертикальных рядов формаций.

Под вертикальным рядом формаций понимается совокупность
формаций, возникшая за один тектонический цикл (от заложения

до окончания формирования региональных структур). Результаты формационного анализа отображаются на структурно-формационных картах.

Выполнение формационного анализа в полном объеме на больших территориях при составлении обзорных и мелкомасштабных прогнозных карт — задача очень сложная и трудоемкая. При наличии готовых структурно-формационных карт проведение формационного анализа облегчается. В этих случаях используются готовые структурно-формационные карты, которые уточняются на основании полученных новых данных и специализируются на фосфатное сырье. Специализация структурно-формационных карт на фосфатное сырье включает: 1) выделение и уточнение геологических тел (формаций, субформаций и т. д.), с которыми связаны известные месторождения фосфоритовых руд; 2) детализацию строения, состава и структуры таких геологических тел, а также окружающего их геологического пространства (латеральных, вертикальных рядов, характера связи в рядах и т. д.); 3) выделение новых и уточнение границ и строения выделенных геологических тел, которые по основным признакам (составу, структуре, истории развития, тектоническому положению и т. д.) обнаруживают сходство с геологическими телами, вмещающими известные месторождения фосфоритовых руд; 4) выделение и дополнение карты теми специфическими элементами, которые характерны для геологических тел с известными месторождениями фосфоритовых руд и для их окружения; 5) генерализацию, а в соответствующих случаях изъятие информации, не связанной с минерагенией фосфоритового оруденения.

Литолого-фациальный и фациальный анализы применяются преимущественно при крупно- и среднемасштабных прогнозных исследованиях для восстановления условий осадконакопления и образования горных пород, выделения фациальных комплексов пород и выяснения условий образования полезных ископаемых. Отнесение конкретных объектов к той или иной фации производится по комплексу признаков структурно-текстурных, вещественных, минералого-геохимических, палеонтологических, палеоэкологических и других для осадочных фаций и литофаций; структурно-текстурных, вещественных, минералого-геохимических, пространственно-морфологических и других — для метаморфических фаций.

В зависимости от масштаба прогнозирования, сложности геологического строения района исследований и иных факторов приходится оперировать с геологическими телами разного объема и использовать разные методы анализа исходных материалов и данных. Это связано не столько с техническими возможностями отображения их на картах, сколько с необходимостью свертывания первичной информации в геологические категории того или иного уровня организаций для крупномасштабных исследований в меньшей, а для мелкомасштабных — в большей степени. При мелкомасштабном прогнозировании в общем случае основными

объектами исследования являются структурно-формационные комплексы, фациальный и структурно-формационный, а тем более локальность оперировать с меньшими — субформациями, фациями. Естественно, что в этом случае разном фациальный анализ.

Однако нельзя строго разбивать масштабов прогнозирования геологических тел одной и той же фации в очень широких пределах в геологическом строении конкретных геологических тел геологического пространства. Например, некоторые формации слабодислоцированном покрове в стояниях в сотни километров даже на мелкомасштабных картах (например, фация Русской платформы), с сильной изменчивостью пород, встречаются только в пределах нескольких километров. К ним относятся, например, фации Южного Урала, выделяемых в качестве осадочных и магматических комплексов (Сидоренко, 1973]. Естественно, что при мелкомасштабных исследованиях фациальный метод с анализом отдельных тел, в первом случае даже при необходимости придется оперировать с ответственными рядами формаций, в которых дования не теряет своего значения.

Сбор и систематизация данных фосфатных руд и фосфоритовых месторождений кадастра. Описания, где указываются соответствующие фации, по типовым кадастровым листкам.

Операция 2. Выбор и фациальный анализ эталонов при прогнозировании геологических тел, не только месторождения, но и фации, с которыми связаны эти месторождения. Под эталонное тело (модель месторождения) понимается система признаков, которая приближения аппроксимирует реальные месторождения.

В основу эталона принимаются фации (формации) данного

структур). Результа-
структурно-форма-

ном объеме на боль-
и мелкомасштабных
рудоемкая. При на-
рт проведение фор-
лучаях используются
которые уточняются на
ализируются на фос-
рмационных карт на
уточнение геологиче-
с которыми связаны
руд; 2) детализацию
ических тел, а также
а (латеральных, вер-
т. д.); 3) выделение
енных геологических
аву, структуре, исто-
т. д.) обнаруживают
ими известные место-
и дополнение карты
характерны для гео-
ми фосфоритовых руд
в соответствующих
с минерацией фос-

анализы применяются
штабных прогнозных
осадконакопления и
циальных комплексов
лезных ископаемых.
иной фации произво-
ектурных, веществен-
гических, палеоэколо-
и литофаций; струк-
о-геохимических, про-
для метаморфических

вания, сложности гео-
и иных факторов при-
ми разного объема и
ых материалов и дан-
и возможностями ото-
имостью свертывания
егории того или ино-
ных исследований в

объектами исследования являются формации, ряды формаций, структурно-формационные комплексы, а основными методами — формационный и структурно-формационный анализы. При региональном, а тем более локальном прогнозе возникает необходимость оперировать с меньшими по объему геологическими телами — субформациями, фашиальными комплексами пород и др. Естественно, что в этом случае должен применяться главным образом фашиальный анализ.

Однако нельзя строго разграничить методы анализа для разных масштабов прогнозирования. Это объясняется тем, что объем геологических тел одной и той же категории может изменяться в очень широких пределах в зависимости от особенностей геологического строения конкретного района, способа разделения на отдельные тела геологического пространства и других факторов. Например, некоторые формации, выделяемые в платформенном слабодислоцированном покрове, нередко прослеживаются на расстояниях в сотни километров и без труда могут быть отображены даже на мелкомасштабных картах (глауконит-терригенная формация Русской платформы). В сложных по строению районах с сильной изменчивостью пород некоторые формации распространяются только в пределах первых километров или даже сотен метров. К ним относятся, например, некоторые породные комплексы районов Южного Урала и других палеовулканических областей, выделяемых в качестве вулканогенных, вулканогенно-осадочных и магматических формаций [Основные принципы и методика..., 1973]. Естественно, что в первом случае даже при мелкомасштабных исследованиях должен быть применен формационный метод с анализом отдельных формаций и даже фаций. Во втором случае даже при региональном прогнозировании в силу необходимости придется оперировать геологическими телами, соответствующими рядам формаций, и формационный метод исследования не теряет своего значения даже при локальных исследованиях.

Сбор и систематизация данных о месторождениях и проявлениях фосфатных руд и фосфатных пород сопровождаются составлением кадастра. Описания производятся на отдельных листах, где указываются соответствующие данные, предусмотренные типовым кадастровым листком месторождения, проявления, аномалии.

Операция 2. Выбор и формирование эталонов. В качестве эталонов при прогнозировании, особенно обзорном, используются не только месторождения, но и более крупные геологические тела, с которыми связаны эти месторождения, в частности фосфатоносные формации. Под эталоном подразумевается абстрактное рудоносное тело (модель месторождения, формации и др.), обладающее системой признаков, которые с той или иной степенью приближения аппроксимируют реальные рудоносные тела этого типа. В основу эталона принимаются хорошо изученные месторож-

гающиеся как на изучаемой территории, так и за ее пределами. Одно из главных требований при формировании эталона — строгое соблюдение однотипности объектов, включаемых в эталонную выборку. Однотипность объектов эталонной выборки определяется обычно на основании геологических классификаций месторождений, формаций. Однако в некоторых случаях требуется дополнительное подтверждение или проверка однородности эталонной выборки, что может быть осуществлено с помощью математических методов. Решается эта задача способами автоматической классификации, типизации и группирования [Бугаец А. Н., Дуденко Л. Н., 1976; Бугаец А. Н., Горбунова Л. Л., Подворчан В. И., 1974].

В настоящее время известны четыре основные продуктивные фосфоритоносные формации. С каждой из них связаны промышленные месторождения фосфоритовых руд определенного типа (или нескольких типов). Кроме того, выделяется продуктивная фосфатонная формация коры выветривания, к которой приурочены месторождения как фосфоритовых, так и апатитовых руд. Эти типы промышленных месторождений фосфоритовых руд и продуктивных фосфоритоносных формаций рекомендуется использовать при прогнозировании в качестве эталонов (табл. 4).

Каждый тип продуктивной фосфоритоносной формации или месторождения фосфоритовых руд обладает набором специфиче-

Таблица 4

Группировка главнейших промышленных месторождений фосфоритовых руд

Серия	Генетическая группа	Продуктивные фосфоритоносные геологические формации	Типы руд	Примеры месторождений
Экзогенная	Морская	Кремнисто-карбонатная	Микрозернистый	Аксай, Джанатас и др. (СССР), Хубсугульское (МНР), Дачис (Австралия)
		Терригенно-кремнисто-карбонатная	Зернистый	Хурибга, Юссуфия (Марокко), Кнейфис, Восточное (Сирия)
	Группа терригенных формаций	Глаукоцит-терригенная Органогенно-терригенная	Желваковый Ракушняковский	Вятско-Камское, Егорьевское, Чилисайское, Тоолсе, Кингисеппское, Маарду (СССР)
Континентальная		Коры выветривания	Коры выветривания	Ашинское, Телекское (СССР)

ских признаков и прогнозируются в последующих главах. Оценка или формации может проводиться новых, до этого не известных фосфоритоносных фосфоритовых руд характерными сравнительно с общими признаками некоторых признаков типовой модели. Поэтому при прогнозировании в пределах объектов и прогнозные критерии уточняются. Например, можно использовать узким стратиграфическим для известных в данном бассейне.

Признаки эталона отобраны из данных, наблюдавшихся в выборке. В отдельных случаях признаки, основанные на признаках, определяющих, в частности, месторождений, признаке наблюдаемые элементы.

Из множества отобраных признаков формируются шкалы признаков, ванные списки последних, признаков: геотектонические, литологические, географические, минералогические и др. Каждому признаку в соответствии с подготовленной информацией по каждому признаку дается прогнозной оценке. Для каждого признака описания, так и имеющиеся геологические, геофизические, геохимические, геоэлектрические, геомагнитные, геоастрономические, геоинформационная информация свертываются в признаки, соответствующие признакам наблюдаемым объектам или наоборот.

Признаки могут описываться в последнем случае наличие признака в ячейке матрицы признаков. Если признак не изучен, ставится вопрос о его значении.

Предложен ряд способов количественной оценки признаков. Например, каждому признаку присваивается значение в баллах на основе условной шкалы, в частности, [Р. М., 1973]. Цена балла присваивается в зависимости от значения. Некоторые авторы используют баллах по частоте встречаемости признаков.

а ее пределами.
эталона — стро-
ых в эталонную
ки определяется
ий месторожде-
буется дополни-
и эталонной вы-
математических
гической класси-
ц А. Н., Дуден-
Подворчан В. И.,

ые продуктивные
связаны промыш-
деленного типа
ся продуктивная
которой приуро-
апатитовых руд.
оритовых руд и
ендуется исполь-
(табл. 4).
формации или
ором специфиче-

Таблица 4
фосфоритовых руд

римеры месторождений

сай, Джанатас и др.
СР), Хубсугульское
Р), Дачис (Австра-

урибга, Юсуфия
окко), Кнейфис,
очное (Сирия)

тско-Камское,
ьевское, Чилисай-
Тоолсе, Кингисеп-
е, Маарду (СССР)

инское, Телекское
СР)

ских признаков и прогнозных критериев, которые рассматриваются в последующих главах. Общий эталон каждого типа месторождения или формации может использоваться только при прогнозировании новых, до этого неизвестных их аналогов. В каждом конкретном фосфоритоносном бассейне или районе месторождения фосфоритовых руд характеризуются определенными особенностями сравнительно с общим эталоном, и диапазон изменения значений некоторых признаков у них значительно уже, чем у общей типовой модели. Поэтому при региональном или локальном прогнозировании в пределах ограниченных по площади районов признаки и прогнозны критерии эталона должны конкретизироваться и уточняться. Например, возрастное положение следует ограничивать узким стратиграфическим интервалом, установленным для известных в данном бассейне или районе месторождений.

Признаки эталона отбираются в основном из эмпирических данных, наблюдавшихся и описанных у объектов эталонной выборки. В отдельных случаях оправдано включение некоторых признаков, основанных на теоретических генетических представлениях, определяющих, в частности, необходимые условия образования месторождений, перекодированных в вещественные и другие наблюдаемые элементы.

Из множества отобранных признаков, характеризующих эталон, формируются шкалы признаков, представляющие фиксированные списки последних. Однотипные признаки объединяются в группы: геотектонические, литологические, магматические, стратиграфические, минералогические, геохимические, геофизические и др. Каждому признаку в списке присваивается свой номер. В соответствии с подготовленной шкалой производится отбор первичной информации по каждому геологическому объекту, подлежащему прогнозной оценке. Для этого используются как геологические описания, так и имеющиеся графические материалы: геологические, геофизические, геохимические и другие карты. Отобранная информация свертывается в матрицы — таблицы, строки которых соответствуют признакам, а столбцы — эталонным и изучаемым объектам или наоборот.

Признаки могут описываться количественно или качественно. В последнем случае наличие признака фиксируется в соответствующей клетке матрицы символом 1, а отсутствие — символом 0. Если признак не изучен, ставится прочерк.

Предложен ряд способов отбора первичной информации с полуколичественной оценкой значения признаков в условных баллах. Например, каждому признаку совокупности эталонных и оценочных объектов экспертом-геологом присваивается определенное значение в баллах на основании предварительно разработанной условной шкалы, в частности пятибалльной [Константинов Р. М., 1973]. Цена балла для каждого признака устанавливается в зависимости от возможного диапазона изменения его значения. Некоторые авторы оценивали значения признаков в баллах по частоте встречаемости каждого из них, выраженной в

ново, или корректируют и дорабатывают имеющиеся. Средне- и крупномасштабные вспомогательные карты составляют в заданном масштабе прогнозной карты. При значительной нагрузке некоторые мелкомасштабные вспомогательные карты целесообразно строить в более крупном масштабе (обычно в 2 раза крупнее), чем масштаб прогнозной карты.

Карта изученности составляется с целью выяснения и графического отображения степени геологической, геофизической изученности, а также степени охвата поисковыми и разведочными работами на фосфатное сырье исследуемой территории. Карта строится на бланках, содержащих разреженную топографическую основу. Для региональных и локальных карт, а также для выделенных на мелкомасштабных картах перспективных и с неясными перспективами площадей регистрируются все виды геологосъемочных, поисковых, геофизических и геохимических работ. Дополнительно в виде таблицы дается расшифровка изученных площадей по видам проведенных работ с указанием исполнителей. Для остальных площадей на мелкомасштабных картах каждый вид работ указывается сплошными массивами в общих контурах, без подразделения по исполнителям и времени выполнения и без расшифровки в таблице.

Регистрационная карта. Регистрационная карта строится на базе кадастра на геологической основе. На регистрационной карте отражаются месторождения фосфоритовых руд, рудопроявления и точки минерализации, формационная принадлежность и типы месторождений и проявлений, а также другие их характеристики. Дополнительно на эту карту наносятся месторождения (или бассейны) других полезных ископаемых, обнаруживающие связь с месторождениями и продуктивными на фосфоритовые руды геологическими телами (марганец, ванадиеносные углистые сланцы и др.). Кроме того, на региональные и локальные карты наносятся геохимические аномалии фосфора, фтора и элементов-индикаторов, шлиховые ореолы фосфатных минералов; на мелкомасштабных картах эти данные обычно отражаются внемасштабными знаками или даются в обобщенном и генерализованном виде (площади распространения геохимических аномалий фосфора, фтора и др.).

Геофизические и геохимические карты. При составлении мелкомасштабных прогнозных карт применяются в основном существующие геофизические карты региональных магнитных и гравитационных полей того же масштаба с результатами их интерпретации, являющиеся источником информации о глубинном строении района исследований. Геофизическая информация (локальные аномалии и др.), которая используется непосредственно в качестве прогнозных критериев, дается также и на регистрационной карте.

Необходимость построения специальных геофизических карт может возникнуть только в отдельных случаях при региональном и локальном прогнозировании. В этих случаях на карты выносятся

ся лишь та геофизическая информация с результатами ее интерпретации, которая связана с решением задач прогнозирования. Специальные геохимические карты составляются также в основном как вспомогательные для региональных и локальных прогнозных карт и содержат нагрузку в виде ореолов рассеяния, изображаемых изолиниями. Геохимические аномалии, играющие роль прогнозных критериев и поисковых признаков, выносятся также на регистрационную карту.

Структурно-формационная карта специализируется на фосфатное сырье и используется как основа минералогических обзорных, а в соответствующих случаях региональных и локальных прогнозных карт.

Схемы сопоставления и корреляции — стратиграфические; осадочных, магматических и метаморфических формаций; этапности и стадийности развития складчатых и платформенных областей и т. д. — выполняются для сравнительного анализа сходных геологических тел и структур, выяснения положения оруденения по стадиям, этапам и в пределах геологических тел и структур. Строятся в произвольной форме.

Операция 4. Проведение полевых работ с целью получения дополнительных фактических данных. При прогнозных исследованиях мелкого масштаба специальные полевые исследования или совсем не проводятся, или проводятся в небольших объемах. По мере укрупнения масштаба роль специальных полевых работ и их объемы все более увеличиваются, причем, помимо маршрутных работ, в случае необходимости (при локальном прогнозе) должны производиться площадные геохимические и геофизические съемки, проходка горных выработок и даже буровые работы. Виды и объемы полевых работ определяются применительно к каждому конкретному району прогнозирования в зависимости от характера недостающих для решения прогнозных задач данных.

При региональных, частично локальных прогнозных исследованиях в качестве одного из методов полевых работ рекомендуется [Красильникова Н. А. и др., 1975] изучение опорных разрезов рудоносных и потенциально рудоносных геологических тел (формаций и др.). В качестве опорных выбираются наиболее типичные разрезы, с наибольшей обнаженностью и наименьшей дислоцированностью. Маршрутные исследования и изучение опорных разрезов должны сопровождаться полевым микрохимическим опробованием на фосфор и отбором образцов для специальных исследований. Конкретно методические приемы тех или иных видов полевых исследований определяются поставленными перед ними задачами. Эти приемы изложены в специальных руководствах и инструкциях.

Операция 5. Уточнение результатов предыдущих операций; минералогический анализ и составление минералогической карты. Уточнение и корректировка результатов предыдущих операций и вспомогательных материалов производятся на основе результатов полевых исследований с учетом полученной дополнительной ин-

формации. На основе подготовленного материала производится минералогический анализ территории. На основе подготовленного материала производится минералогический анализ территории на примере известных месторождений во времени в связи с историей района (по этапам и стадиям развития областей и т. д.) и в пространстве с определенными веществами; 3) установление связей между процессами и рудоконтролирующими факторами; 4) уточнение известных месторождений; 5) минералогический анализ территории в выделении рудоносных (известных) объектов на основании особенностей тектонического развития, положения и т. д. Анализ производится с использованием геохимических и других геологических данных. Составление минералогической карты производится на основе сопоставления минералогической карты с геологической картой. Методы минералогического анализа территории.

Рудоносные объекты и площадки районирования должны выделяться на основе геологических структур, тел. Составление минералогической карты невозможно; в этом случае выделяются ореолы рассеяния, геофизические и др. Выделенные рудоносные объекты по мерам (фосфоритовые провинции и т. д.), по типу месторождений (зернистые, желваковые и т. д.).

В результате минералогического районирования все площади территории делятся на два класса: перспективные и неперспективные, и рудоносные. Классификация их по перспективности и классификация их по перспективности.

Минералогическая карта составлена на основе геологической карты, подтверждающая и дополняющая ее. Нагрузку минералогической карты составляют: специализированная карта, составленная на основе геологической карты, и собственно минералогическая карта, составленная на основе геологической карты. Рудоносность, закономерности рудообразования, рудоконтролирующие факторы, состав минералогических формаций, а также минералогический анализ территории.

Элементы геологической карты составляются со специализированными картами, построение которых производится на основе геологической карты. При этом происходит сопоставление геологических элементов, не существующих на минералогической карте. Для обзорных минералогических карт составляются минералогические карты.

... с результатами ее интер-
... задач прогнозирования.
... составляются также в основ-
... и локальных прогноза-
... ореолов рассеяния, изобра-
... аномалии, играющие роль
... признаков, выносятся также

... карта специализиру-
... как основа минерагени-
... случаях региональных и

... корреляции — стратиграфи-
... и метаморфических формаций;
... складчатых и платформенных
... сравнительного анализа сход-
... выяснения положения оруде-
... влах геологических тел и струк-
... е.

... работ с целью получения до-
... При прогнозных исследова-
... полевые исследования или
... в небольших объемах. По
... специальных полевых работ и
... причем, помимо маршрутных
... локальном прогнозе) должны
... еские и геофизические съемки,
... буровые работы. Виды и объ-
... применительно к каждому кон-
... зависимости от характера не-
... задач данных.

... локальных прогнозных исследова-
... полевых работ рекомендуется
... изучение опорных разрезов ру-
... **ых геологических тел (форма-**
... **ыбираются наиболее типичные**
... **тью и наименьшей дислоциро-**
... **ия и изучение опорных разре-**
... **ым микрохимическим опробо-**
... **цов для специальных исследо-**
... **емы тех или иных видов поле-**
... **тавленными перед ними зада-**
... **альных руководствах и инст-**

... ов предыдущих операций; ми-
... ние минерагенической карты.
... атов предыдущих операций и
... одятся на основе результатов
... лученной дополнительной ин-

формации. На основе подготовленных таким образом материалов производится минерагенический анализ, включающий: 1) определение на примере известных месторождений положения оруденения во времени в связи с историей развития тектонических структур района (по этапам и стадиям складчатых и платформенных областей и т. д.) и в пространстве; 2) выяснение связи оруденения с определенными вещественными комплексами пород и формациями; 3) установление связи оруденения с геологическими процессами и рудоконтролирующими факторами; 4) выявление новых и уточнение известных закономерностей размещения месторождений; 5) минерагеническое районирование, заключающееся в выделении рудоносных (известных и предполагаемых) площадей, объектов на основании особенностей их геологического и тектонического развития, положения и состава. Минерагенический анализ производится с использованием формационного, тектонического и других геологических методов. При этом процедура составления минерагенической карты является также одним из методов минерагенического анализа.

Рудоносные объекты и площади при минерагеническом районировании должны выделяться в пределах границ тех или иных геологических структур, тел. Однако нередко это требование выполнить невозможно; в этом случае используются границы полей, ореолов рассеяния, геофизических аномалий, зон метаморфизма и др. Выделенные рудоносные объекты классифицируются по размерам (фосфоритоносные провинции, бассейны, районы, формации и т. д.), по типу месторождений фосфоритовых руд (микрoзернистые, зернистые, желваковые и др.) и по характеру рудоносности.

В результате минерагенического анализа и минерагенического районирования все площади и геологические тела на изучаемой территории делятся на два класса: нерудоносные, а следовательно неперспективные, и рудоносные, подлежащие прогнозной оценке и классификации их по перспективности.

Минерагеническая карта составляется как основа прогнозной карты, подтверждающая и доказывающая прогнозные построения. Нагрузку минерагенической карты можно условно разбить на две части: специализированная на фосфатное сырье геологическая основа и собственно минерагеническая нагрузка, отражающая рудоносность, закономерности размещения, прогнозные критерии и рудоконтролирующие факторы месторождений и продуктивных формаций, а также минерагеническое районирование.

Элементы геологической основы минерагенических карт отображаются со специализированных структурно-формационных и других карт, построение которых производится в результате структурно-формационного анализа при выполнении предыдущих операций. При этом происходит окончательная отсортровка геологических элементов, не существенных для прогнозирования, которые на минерагенической карте генерализуются или совсем опускаются. Для обзорных минерагенических карт геологической ос-

новой является структурно-формационная. Составляется она путем специализации на фосфатное сырье структурно-формационных карт. Детальность нагрузки геологической основы мелкомасштабных минерагенических карт, естественно, увеличивается, и поэтому на ней кроме формаций и структурно-формационных комплексов выделяются субформации, фации, литолого-фациальные зоны и комплексы.

Методы составления специализированной на фосфатное сырье основы мелкомасштабных минерагенических карт и ее содержание по существу те же, что и для обзорных карт. Характер геологической основы минерагенических карт среднего и крупного масштабов (региональных и локальных) определяется направленно-стью прогнозирования на один конкретный тип (реже нескольких типов) месторождений фосфатного сырья, особенностями геологического строения района и характером имеющейся наиболее важной информации. Так, при локальном прогнозе с задачей прослеживания известного рудного тела на глубину и фланги геологическая основа прогнозной карты в качестве главных должна отражать структурные элементы рудного поля, т. е. по существу должна быть структурной; при пологом пластовом залегании рудного тела и отсутствии дислокаций эта основа при прогнозе, например, желваковых фосфоритовых руд в качестве главных элементов должна показать вещественный состав и фациальные условия, т. е. должна быть литолого-фациальной, и т. д.

Собственно минерагеническая нагрузка минерагенической карты включает данные о рудоносности (месторождения, проявления фосфоритовых руд, фосфатные породы, фосфоритоносные формации), прогнозные критерии, перекодированные в вещественные, структурные геологические элементы, поисковые признаки (геофизические, геохимические аномалии, шлиховые ореолы, парагенетически связанные с фосфоритовыми рудами породы и проявления других полезных ископаемых и т. д.) и минерагеническое районирование.

Операция 6. Определение степени перспективности геологических тел, площадей; подсчет прогнозных запасов. Определение степени перспективности геологических тел и площадей осуществляется путем сравнения их с эталонами — типовыми моделями месторождений, фосфоритоносных формаций. Эта процедура может выполняться или качественно — путем фиксации наличия или отсутствия признаков эталона у сравниваемого объекта и качественной оценки сходства между ними (качественное прогнозирование), или количественно, для чего употребляются более сложные математические методы.

В настоящее время проблема количественной оценки перспективности геологических тел, площадей находится в стадии разработки и совершенствования. Применяются различные критерии количественной оценки перспективности. Наиболее часто в качестве критерия перспективности используется степень сходства изучаемого объекта с эталоном, которая может выражаться различными

способами: значением косинуса векторами в признаковом пространстве и изучаемому объекту, или критерия перспективности» (и делается суммированием информации и изучаемого объекта и т. на площадях, расположенных площади, степень перспективности устанавливаться по величине

Прогнозирование — процедура, является процедурой вероуполнении исполнитель всегда формации. Поэтому количественная степень перспективности — от обнаружения месторождения, пень поискового риска, тем б показателя.

Необходимо отметить, чтоности какой-либо площади к определенным любыми методами зан со значением прогнозных запаса перспективности к пр к несложным пересчетам. Чт нужно определить вид зависимости и плотностью прогнозными. В частном случае, г борки, различающихся по з координатах: значение критерия суммы информационных (выборки) — прогнозные запасы). Такой график может прогнозных запасов оценивае

Показатель степени перспективности обнаружения на изучаемой площади, обеспечивающих определенную эталонную величину с величиной прогнозных запасов линейной зависимостью со з

В силу этого приемы и критерии перспективности изучаемых объектов та прогнозных запасов — д ваются на одних и тех же предварительное определение объектов, то часто нет необходимости аналогичную процедуру можно ограничиться менее

При определении степени перспективности ситуаций изучаемых объектов как сходство соответствующим

оставляется она пугурно-формационных новы мелкомасштабличивается, и поэтомационных комплекго-фациальные зоны

на фосфатное сырье карт и ее содержания. Характер геологического и крупного масштаба является направленно-ип (реже нескольких особенностями геологической наиболее важнее с задачей проследить фланги геологических авных должна отрае. по существу должн залегании рудного и прогнозе, напри-тве главных элементфациальные условия.

инерагенической карожждения, проявления поритоносные формае в вещественные, вые признаки (геоые ореолы, парагенепороды и проявления агагеническое райони

тивности геологичеспасов. Определение площадей осуществлени типовыми моделями

Эта процедура фиксации наличия или го объекта и качественное прогнозироваются более слож-

ной оценки перспектса в стадии разраличные критерии коее часто в качестве нх сходства изучаежаться различными

способами: значением косинуса угла между двумя многомерными векторами в признаковом пространстве, соответствующим эталону и изучаемому объекту, или сходством значений «комплексного критерия перспективности» (или «рудности»), который определяется суммированием информационных весов признаков эталона и изучаемого объекта и т. д. При локальном прогнозировании на площадях, расположенных целиком в пределах перспективной площади, степень перспективности отдельных участков может устанавливаться по величине прогнозных запасов.

Прогнозирование — предсказание месторождений —, по существу, является процедурой вероятностно-статистической. При ее выполнении исполнитель всегда работает в условиях дефицита информации. Поэтому количественный результат прогнозирования — степень перспективности — отражает определенную вероятность обнаружения месторождения, иными словами, определенную степень поискового риска, тем большую, чем меньше значение этого показателя.

Необходимо отметить, что показатель (значение) перспективности какой-либо площади как степени ее сходства с эталоном, определенный любыми методами, той или иной зависимостью связан со значением прогнозных запасов, и поэтому переход от показателя перспективности к прогнозным запасам может сводиться к несложным пересчетам. Чтобы осуществить такой пересчет, нужно определить вид зависимости между показателем перспективности и плотностью прогнозных запасов или прогнозными запасами. В частном случае, при наличии объектов эталонной выборки, различающихся по запасам, можно построить график в координатах: значение критерия перспективности (например, значение суммы информационных весов признаков объектов эталонной выборки) — прогнозный запас (или плотность прогнозных запасов). Такой график можно использовать для определения прогнозных запасов оцениваемых объектов.

Показатель степени перспективности отражает вероятность обнаружения на изучаемой площади месторождений данного типа, обеспечивающих определенную плотность запасов, соответствующую эталонному объекту. Поэтому его нельзя отождествлять с величиной прогнозных запасов, хотя она может быть связана линейной зависимостью со значением перспективности.

В силу этого приемы и способы количественного определения перспективности изучаемых объектов, с одной стороны, и подсчета прогнозных запасов — с другой, имеют много общего и основываются на одних и тех же исходных данных. Если произведено предварительное определение степени перспективности изучаемых объектов, то часто нет необходимости выполнять в полном объеме аналогичную процедуру для подсчета прогнозных запасов, можно ограничиться менее сложными расчетами.

При определении степени перспективности реальное сходство ситуаций изучаемых объектов с эталонными часто определяется как сходство соответствующих им двух векторов в многомерном

пространстве признаков, поскольку всякий реальный геологический объект описывается системой признаков или как сходство сумм информационных весов признаков.

В такой постановке задача определения степени перспективности сводится к известным в математике задачам распознавания образов и классификации, реализующим на более высоком уровне традиционный принцип прогнозных исследований — метод аналогии.

В настоящее время разработан ряд способов решения задач подобного типа, нередко требующих применения вычислительной техники [Бугаец А. Н., Дуденко Л. Н., 1976]. Выбор рациональной схемы и методов решения в каждом конкретном случае определяется в зависимости от многих факторов, и в первую очередь от количества и характера исходной информации. Постановка задач прогнозных оценки с использованием идей и методов распознавания и автоматической классификации «... не может быть (и, по-видимому, принципиально) достаточным образом формализована как в смысле выбора каких-то оптимальных мер сходства, критериев группирования, так и в смысле выбора критериев качества классификации объектов. Как и при использовании иных эвристических методов принятия решений, эти параметры целесообразно, по-видимому, подбирать опытным путем, в зависимости от особенностей той или иной конкретной задачи» [Бугаец А. Н., Горбунова Л. Л., Подворчан В. И., 1974, с. 67]. Можно наметить лишь общую схему прогнозных оценки рассматриваемыми методами в следующем виде.

1. Выбор эталонов. Принципы выбора рассмотрены при описании операции 2.

2. Формирование признакового пространства, т. е. выработка фиксированной системы признаков (или, как ее еще называют, — шкалы признаков), посредством которой описываются эталоны и оцениваемые объекты (см. описание операции 2).

3. Предварительная математическая обработка отобранных для прогнозных оценки данных, заключающаяся в определении информативности признаков, удалении избыточной, не влияющей на конечный результат, информации. Затем выбирается такая подсистема признаков, которая дает наилучшие результаты при распознавании образа месторождения.

Применяются различные способы определения информативности признаков и выбора оптимальной их группы, которые могут использоваться при том или ином объеме и характере исходной информации. В частности, для этой цели предложены алгоритмы «ТАУ» и «КВС».

4. Определение степени перспективности. Одним из простейших способов решения этой задачи является вычисление «коэффициента сходства», под которым понимается значение косинуса угла между двумя многомерными векторами, отвечающими в признаковом пространстве эталону и оцениваемому объекту [Константинов Р. М., 1973].

При определении перспективности варианты технической процедуры реклассификации, часть из которых описанных в литературе. Они разнятся по используемым мерам сходства и методам. (Бугаец А. Н., Дуденко Л. Н., 1976]. того или иного варианта весьма большинство из предложенных алгоритмов и классификации могут быть применены при наличии соответствующих алгоритмов относятся: «Кора-3», «Объект-3», «БР», «Потенциал-2» [Савинский Е. П., 1976]. тупиковым тестам, использующего алгоритмы автоматической классификации».

При локальном прогнозировании территорию разбивали на квадраты, оценивая их без вычисления степени перспективности. Такие запасы. Такой подход к прогнозированию оправдан, если прогнозирование перспективности которой уже доказана.

Прогнозными запасами называются залежи ископаемых, которые предельно полно характеризуются по размерности геологического строения и площади.

По степени достоверности и другим характеристикам запасы обычно подразделяются на разведанные и разведываемые. (Вер Н. А., 1973; Рундквист Д. В., 1976], которые применительно к прогнозированию определяются следующим образом:

1. Собственно прогнозными, или разведываемыми, являются залежи фосфоритоносных бассейнов и залежи фосфоритовых, разведанных или разведываемых, примыкающих к контурам залежи, также запасы на площадях с твердыми породами, в которых по существу важнейших критериев и признаков не выявлено, но не учтенные по категории.

2. Предполагаемые — прогнозными являются залежи месторождений и участков в пределах разведанных бассейнов, районов или частей их, которые не являются единичными промышленными месторождениями.

3. Проблематичные — прогнозными являются залежи на площадях и геологическом строении, в которых известны промышленные месторождения, но не выявлены теоретических предпосылок, подтверждающих их существование.

Д. В. Рундквист

еальный геологический или как сходство

степени перспективности рас­познавания более высоком уровне — метод ана-

логов решения задач

Выбор рационального случая опре­делен в первую очередь постановкой задачи. Постановка задачи и методов рас­познавания не может быть (и,

образом формализованных мер сходства, критериев качества

взвешивания иных эвристик) целесобразно, независимо от особенностей [Бугасц А. Н., Гор-

Можно наметить матричными мето-

рассмотрены при описа-

ва, т. е. выработка еще называют, — являются эталоны и

обработка отобранных данных в определении точной, не влияющей выбирается такая результаты при

информативности, которые могут характере исходной ложены алгоритмы

Одним из простейших вычислений «коэффициент косинуса» отвечающими в объекту [Кон-

При определении перспективности возможны многочисленные варианты технической процедуры решения задачи распознавания и классификации, часть из которых реализована в виде алгоритмов, описанных в литературе. Они различаются по характеру используемых мер сходства и методами расчета их значений [Бугасц А. Н., Дуденко Л. Н., 1976]. Вопрос о предпочтительности того или иного варианта весьма сложен и не исследован. Большинство из предложенных алгоритмов решения задач распознавания и классификации могут быть приняты для оценки перспективности при наличии соответствующих исходных данных. К таким алгоритмам относятся: «Кора-3», «Обобщенный портрет», «Образ-3», «БР», «Потенциал-2» [Савинский И. Д., 1974], «Голосования по тупиковым тестам», использующего дискретные методы, а также алгоритмы автоматической классификации «Спектр» и «Объединение».

При локальном прогнозировании некоторые авторы изучаемую территорию разбивали на квадратные ячейки и для каждой из них без вычисления степени перспективности определяли прогнозные запасы. Такой подход к прогнозной оценке можно считать оправданным, если прогнозирование ведется на площади, перспективность которой уже доказана.

Прогнозными запасами называются неразведанные запасы полезных ископаемых, которые предполагаются на основании закономерностей образования и размещения месторождений, особенностей геологического строения и истории развития оцениваемой площади.

По степени достоверности и другим характеристикам прогнозные запасы обычно подразделяются на три группы [Быховер Н. А., 1973; Рундквист Д. В., Ильин К. Б., Марков К. А., 1976], которые применительно к фосфоритовым рудам можно определить следующим образом:

1. Собственно прогнозные, или возможные — запасы изученных фосфоритоносных бассейнов и месторождений (эксплуатируемых, разведанных или разведываемых) на участках, непосредственно примыкающих к контурам запасов разведанных категорий, а также запасы на площадях с твердо установленной по большинству важнейших критериев и признаков промышленной фосфоритоносностью, но не учтенные по категории S_2 .

2. Предполагаемые — прогнозные запасы новых предполагаемых месторождений и участков на площадях фосфоритоносных бассейнов, районов или частей их, в пределах которых известны единичные промышленные месторождения.

3. Проблематичные — прогнозные запасы площадей, отвечающих площадям и геологическим структурам, в которых еще не известны промышленные месторождения, но предполагаются на основе теоретических предпосылок, фактических данных и признаков.

Д. В. Рундквист с соавторами [1976] предлагают назвать первую группу прогнозных запасов вероятными прогнозными запасами.

ми с отнесением их к категории Д, вторую — перспективными (категория Е или D_1), третью — потенциальными (категория Г или D_2).

Достоверность запасов категории C_2 составляет 50—75% [Рундквист Д. В. и др., 1976]; соответственно для первой группы прогнозных запасов предлагается установить максимальное допустимое отклонение от реальных запасов в 2 раза, для второй — в 3, для третьей — в 5 раз.

Для твердых полезных ископаемых использовались разные методы подсчета прогнозных запасов, большинство из которых применимы и для фосфатного сырья. Все эти методы можно разделить на три основные группы, отличающиеся одна от другой, во-первых, характером и содержанием исходных данных и, во-вторых, математическими приемами, с помощью которых осуществляется подсчет. Первая группа методов в качестве исходных данных использует те же основные параметры, что и при подсчете балансовых запасов (среднее содержание P_2O_5 , средняя мощность фосфоритовых руд и др.), которые распространяются с изученных частей месторождений на неизученные. Сам подсчет ведется с помощью элементарных формул. Эту группу можно назвать «методы распространения».

Для второй группы исходными данными является широкий комплекс геологических, геофизических и геохимических признаков, на основе которого производится сравнение оцениваемого объекта с эталонными, обладающими определенными запасами. При этом вычисления производятся с помощью информационных, логических, статистических и других математических методов. Процедура сравнения и определения сходства оцениваемого объекта с изученными эталонными в большинстве случаев сводится к решению известных в математике задач распознавания образов и классификации. Поэтому методы этой группы называются «методами распознавания и классификации». По характеру используемых данных и по применяемым математическим приемам они близки к соответствующим методам определения количественного значения перспективности.

Третья группа — геофизические и геохимические методы — использует при подсчете в основном данные соответствующих методов исследования и расчетный аппарат математической физики (большая часть теории физических полей).

Подробнее методика подсчета прогнозных запасов фосфатных руд рассматривается в специальной работе: «Методические рекомендации по подсчету прогнозных запасов фосфоритовых руд» (автор А. С. Михайлов) и статье И. С. Боровской [1976].

Операция 7. Геолого-экономическая оценка перспективных площадей, определение видов и объемов геологоразведочных работ для их проверки; составление прогнозной карты и объяснительной записки к ней.

В процессе мелкомасштабной экономической оценки производится учет следующих факторов:

1) состояния сырьевой базы запасами сырья в масштабах с учетом текущего производства и ближайшего пятилетия);

2) географо-экономических (степень экономического освоения трудовых ресурсов, энергетический потенциал);

3) требований промышленности к фосфоритовым рудам (содержание фосфора, наличие вредных примесей, возможность извлечения полезных компонентов и др.);

4) количества прогнозных запасов при прогнозировании, если производится количественная геологическая оценка объектов методами, описанными в данной главе.

По значениям прогнозных запасов производится экономическая оценка перспективности. При этом в зависимости от очередности проверочных работ выделяются объекты в зависимости от степени сложности их геологического изучения и сложности ожидаемых месторождений. На основании результатов проверочных работ и разрабатываются прогнозные карты и геологоразведочные работы.

Прогнозная карта обычно составляется на минералогическую основу. Если производится оценка на минералогическую основу, то прогнозные карты совмещаются с геологическими.

На прогнозной карте отражаются геологическая нагрузка и районирование объектов в зависимости от степени перспективности; в) сводятся рекомендации для оценки перспективности объектов в зависимости от степени освоения месторождений; г) выделяются перспективные (разведанные и прогнозные) объекты; е) контуры площадей геологоразведочных работ; ф) карты-врезки более крупного масштаба.

Из элементов минералогической оценки производится районирование на прогнозную карту. Районирование производится в зависимости от перспективности фосфатопроизводства, перспективности фосфатопроизводства, продуктивности фосфатопроизводства и основных рудоуправляющих показателей. Районирование производится в зависимости от географического районирования прогнозируемых объектов. Районирование производится в зависимости от географического районирования прогнозируемых объектов.

По степени перспективности прогнозируемых объектов подразделяются на следующие группы: А — высокая перспективность, В — малая перспективность, С — средняя перспективность, Д — низкая перспективность, Е — очень низкая перспективность, З — неопределимая перспективность.

ую — перспективными
ными (категория Г

составляет 50—75%
но для первой группы
ь максимальное допу-
2 раза, для второй —

льзовались разные ме-
ство из которых при-
методы можно разде-
ся одна от другой, во-
ных данных и, во вто-
ью которых осуществ-
ачестве исходных дан-
и, что и при подсчете
Р₂O₅, средняя мощ-
спространяются с изу-
ные. Сам подсчет ве-
ту группу можно на-

является широкий
еохимических призна-
вление оцениваемого
деленными запасами.
ью информационных,
матических методов.
а оцениваемого объ-
гве случаев сводится
спознания образов и
называются «мето-
арактеру используе-
ким приемам они
ения количественно-

еские методы — ис-
ответствующих ме-
ематической физики

запасов фосфатных
Методические реко-
осфоритовых руд»
ской [1976].

ка перспективных
оразведочных ра-
рты и объясни-

В процессе мелкомасштабного прогнозирования геолого-эконо-
мическая оценка производится с количественным или качествен-
ным учетом следующих факторов:

1) состояния сырьевой базы (обеспеченность разведанными
запасами сырья в масштабах страны и конкретного региона, объ-
ем текущего производства и запасы потребляющих отраслей на
ближайшее пятилетие);

2) географо-экономических условий перспективных площадей
(степень экономического освоения, наличие транспортных путей,
рудовых ресурсов, энергетической базы и т. д.);

3) требований промышленности к прогнозируемому типу фос-
форитовых руд (содержание Р₂O₅, технологические свойства, на-
личие вредных примесей, возможность попутного извлечения дру-
гих полезных компонентов и др.);

4) количества прогнозных запасов. При средне- и крупномас-
штабном прогнозировании, если позволяют исходные данные, про-
изводится количественная геолого-экономическая оценка конкрет-
ных объектов методами, описанными в следующем разделе дан-
ной главы.

По значениям прогнозных запасов и результатам геолого-эко-
номической оценки все перспективные площади разбиваются по
очередности проверочных работ. Затем, основываясь на данных
по изученности выделенных для проверки площадей, с учетом
степени сложности их геологического строения, закрытости, типа
ожидаемых месторождений определяются виды и объемы прове-
рочных работ. На основании этих данных строится прогнозная
карта и разрабатываются предложения по оптимальному разме-
щению геологоразведочных работ.

Прогнозная карта обычно строится как прозрачная накладка
на минерагеническую. Если позволяет нагрузка, то минерагениче-
ская и прогнозная карты совмещаются.

На прогнозной карте отражаются: а) элементы минерагени-
ческой нагрузки и районирования; б) контуры площадей различной
степени перспективности; в) сведения о стадиях и видах работ,
рекомендуемых для оценки перспективных площадей; г) данные
о степени освоенности месторождений; д) запасы полезных иско-
паемых (разведанные и прогнозные) по выделенным площадям и
объектам; е) контуры площадей, по которым построены прогноз-
ные карты-врезки более крупного масштаба.

Из элементов минерагенической нагрузки и минерагенического
районирования на прогнозную карту выносятся месторождения,
перспективные фосфатопроявления, протяженные зоны сопутству-
ющей минерализации, продуктивные фосфоритоносные формации
и основные рудоконтролирующие структуры. Элементы минераге-
нического районирования показываются лишь те, которые иско-
средственно ограничивают прогнозные площади.
По степени перспективности площади на прогнозной карте
подразделяются на следующие группы: А — перспективные, Б —
неясней перспективности, В — малоперспективные, Г — неперспек-

тивныс. Перспективныс площади по видам рекомендуемых проверочных работ с учетом изученности и других признаков в свою очередь делятся на три категории: А-I, А-II, А-III.

А-I — площади, хорошо изученные, соответствующие рудоносным структурам (районам, полям, узлам и т. д.) с установленным промышленным оруденением, в пределах которых по имеющимся критериям есть перспективы открытия новых месторождений, рудных тел или существенного увеличения запасов за счет доразведки флангов известных месторождений. На этих площадях требуется постановка глубинного геологического картирования, детальных поисков, предварительной или детальной разведки.

А-II — площади, удовлетворительно изученные, отвечающие геологическим структурам, в пределах которых известны промышленные месторождения и которые отвечают основным прогнозным критериям при наличии рудопроявлений и точек минерализации. Для оценки этих площадей требуется постановка поисково-оценочных работ в комплексе со структурным бурением, геофизическими и геохимическими исследованиями, реже — детальные поиски.

А-III — прогнозные площади, изученные в отношении фосфатного сырья недостаточно и отвечающие геологическим структурам с отдельными прогнозными критериями и единичными фосфатопоявлениями. Для оценки площадей данной категории требуется доизучение и проведение общих поисков.

Б — площади плохо изученные, которым невозможно дать обоснованную оценку перспектив. Для их перспективной оценки требуется доизучение с постановкой геологосъемочных, геофизических и тематических научно-исследовательских работ.

В — площади малоперспективные, разной степени изученности, располагающиеся в неблагоприятных геологических и горнотехнических обстановках с единичными второстепенными прогнозными критериями, не требующие постановки дополнительных работ.

Степень перспективности площадей отображается штриховкой. Неперспективные площади оставляются незаштрихованными.

Стадии и виды работ дифференцируются в соответствии с приказом Мингео СССР. Стадии работ, рекомендуемые для оценки выделенных площадей, показываются римскими цифрами в прямоугольнике внутри контура прогнозной площади.

Запасы фосфоритовых руд и P_2O_5 , а также некоторые другие сведения по прогнозным площадям даются в информационном «блоке» (таблице), который помещается в контуре перспективной площади или за его пределами на свободном месте карты.

Объяснительная записка к прогнозной карте мелкого масштаба составляется в объеме 100—200 с. машинописного текста и содержит следующие разделы:

Введение (исходные материалы, составы редакционных коллективов и авторских коллективов и другие данные по организации

Глава I. Методика прогнозного прояснения карты и легенды к ней.

Глава II. Типовые фосфоритовые руды; их прогноз.

Глава III. Содержание карты истории развития, минералогических тел, тектонических элементов.

Глава IV. Обоснование перспектив площадей (сравнительная характеристика, методы подсчета прогноза площадей для оценочных работ геологоразведочных работ).

Заключение (определение направлений работ на ближайшие пятилетия; выполнение закономерностей размещения критериев).

Объяснительная записка к прогнозной карте составляется в виде введения и включает разделы:

Введение.

Глава I. Методика прогнозирования фосфоритовых месторождений и прогнозных карт.

Глава II. Основные черты геологической обстановки района.

Глава III. Типовые фосфоритовые руды; их прогнозныс критерии.

Глава IV. Положение оруденения района и геологическим картированием.

Глава V. Оценка степени изученности площадей, подсчет прогнозных запасов.

Глава VI. Обоснование обобщенных работ.

Заключение (общая оценка района).

Объяснительныс записки составлены на основании изученной литературы и кадастра

ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ МЕТОДИКИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ФОСФОРИТОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Поисковые работы на фосфоритовых площадях, выделенных по результатам геологических и геофизических работ и геологических поисков могут быть перспективными, массивы, аномалии (минералогические), проявления и месторождения.

В процессе проведения поисковых работ и геологических работ

видам рекомендуемых прове-
и других признаков в свою
А-II, А-III.

е, соответствующие рудонос-
там и т. д.) с установленным
слах которых по имеющимся
новых месторождений, руд-
запасов за счет доразвед-
На этих площадях требу-
еского картирования, деталь-
детальной разведки.

но изученные, отвечающие
ах которых неизвестны про-
е отвечают основным про-
опроявлений и точек минера-
требуется постановка поиско-
структурным бурением, гео-
следованиями, реже — деталь-

ченные в отношении фосфат-
геологическим структурам
ями и единичными фосфато-
данной категории требуют
исков.

которым невозможно дать
для их перспективной оценки
геологосъемочных, геофизи-
овательских работ.

разной степени изученности,
геологических и горнотехни-
торостепенными прогнозными
ки дополнительных работ.
ей отображается штриховкой.
тся незаштрихованными.

руются в соответствии с при-
рекомендуемые для оценки
я римскими цифрами в пря-
ной площади.

ь, а также некоторые другие
даются в информационном
ется в контуре перспективной
ободном месте карты.

озной карте мелкого масшта-
машинописного текста и со-

составы редакционных кол-
екие данные по организации

Глава I. Методика прогнозных исследований; принципы построения карты и легенды к ней.

Глава II. Типовые фосфоритоносные формации и месторождения фосфоритовых руд; их прогнозные критерии.

Глава III. Содержание карты (геолого-тектоническое строение, история развития, минерагеническая специализация геологических тел, тектонических элементов, минерагеническое районирование).

Глава IV. Обоснование перспектив и оценка прогнозных площадей (сравнительная характеристика прогнозных площадей, их оценка, методы подсчета прогнозных запасов, обоснование выбора площадей для оценочных работ, определение видов и объемов геологоразведочных работ).

Заключение (определение направления геологоразведочных работ на ближайшие пятилетия; научные результаты работ — уточнение закономерностей размещения месторождений и прогнозных критериев).

Объяснительная записка к региональным и локальным прогнозным картам составляется на 100—200 с. машинописного текста и включает разделы:

Введение.

Глава I. Методика прогнозных исследований и построения минерагенических и прогнозных карт.

Глава II. Основные черты геологического строения и развития района.

Глава III. Типовые фосфоритоносные формации и месторождения; их прогнозные критерии.

Глава IV. Положение оруденения и его связь с историей развития района и геологическими процессами; минерагеническое районирование.

Глава V. Оценка степени перспективности прогнозируемых площадей, подсчет прогнозных запасов.

Глава VI. Обоснование объемов и очередности выполнения оценочных работ.

Заключение (общая оценка района как базы фосфатного сырья).

Объяснительные записки сопровождаются списками использованной литературы и кадастрами месторождений и проявлений.

ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ МЕТОДИКИ ПОИСКОВ МЕСТОРОЖДЕНИИ ФОСФОРИТОВЫХ РУД

Поисковые работы на фосфатное сырье производятся на площадях, выделенных по результатам региональных геологосъемочных и геофизических работ и прогнозных исследований. Объектами поисков могут быть перспективные площади и участки, структуры, массивы, аномалии (минералогические, геохимические, геофизические), проявления и месторождения фосфатных руд.

В процессе проведения поисковых работ, начиная с подстадии

зуется большинство методов, применяемых при поисках других полезных ископаемых, в том числе:

1. Аэрофотометоды: дешифрирование материалов аэрофото-съемок в различных диапазонах видимого и инфракрасного излучений, аэровизуальные наблюдения.

2. Геологические: поиски методом геологической съемки по естественным и искусственным обнажениям. В закрытых районах при поисках некоторых типов месторождений фосфоритовых руд в качестве главных могут быть применены горнобуровые методы, которые служат единственным средством проверки результатов, полученных другими методами.

3. Минералогические методы эффективны при поисках всех типов месторождений фосфоритовых руд в различных геологических условиях. К этим методам относятся обломочно-речной (русловой и склоновой), валунно-ледниковый, шлиховой, протолочно-шлиховой и некоторые другие. Обломочно-речной и валунно-ледниковый методы должны сопровождаться массовым качественным опробованием на фосфор раствором молибденово-кислого аммония. Специфика применения шлихового и протолочно-шлихового методов обуславливается низкой плотностью фосфатных минералов группы апатита ($3-3,2 \text{ г/см}^3$) по сравнению с основным минералом шлихов—магнетитом ($4,9-5,2 \text{ г/см}^3$). Поэтому главным требованием при производстве работ этими методами является обработка проб с получением серого шлиха. Однако результаты шлихового опробования, выполненного с получением черного шлиха, что практикуется, например, при поисках золота, олова и некоторых других металлов, не могут считаться достоверными для выявления минералогических аномалий фосфатных минералов. Вследствие трудностей при визуальной диагностике некоторых минералов группы апатита рекомендуется полученные серые шлихи опробовать качественной реакцией на фосфор. Шлихи с интенсивной реакцией передаются на химический анализ.

4. Геофизические методы: магниторазведка, гравиразведка, электроразведка, сейсморазведка, гаммаспектрометрические и нейтронно-активационные методы и др. Применяются при поисках месторождений различных полезных ископаемых, в том числе и фосфоритовых руд.

5. Геохимические методы: литогеохимические по первичным и вторичным ореолам рассеяния, гидрогеохимические, биогеохимические (к последним можно отнести и геоботанические методы) и др.

Поисковые работы на фосфатное сырье могут производиться в процессе геологической съемки или специально. В первом случае, в стадию региональных геологосъемочных работ, методика их выполнения определяется методикой геологической съемки, которую они сопровождают. Во втором случае, в стадию поисковых работ, методика поисков определяется задачей, направленной на обнаружение месторождений, а методика геологической съемки полностью подчинена решению этой задачи.

Задачи и объекты исследований являются по подстадиям поисковых работ от этого, а также от ожидаемого сложности геологического строения в той мере изменяется методика поисков по отдельным подстадиям и ниже применительно к каждому виду фосфоритовых руд в последующих подстадиях.

При проведении поисков в области выполняются следующие операции: проектирование работ, геологическое исследование, рекогносцировочное обследование, определение основного поискового района, проведение рудопроявлений, рудных тел, оценка запасов категории C_2 , оценка фосфоритовых руд; геологическая браковка выявленных рудопроявлений, проведение дальнейших работ, оценка объемов проверочных работ, оценка (оценочной подстадии) и отчета.

Общими принципами, которыми руководствуются при выполнении поисков, являются комплексность геологических, геофизических и геохимических работ и последовательное ограничение объектов с параллельным увеличением масштабов исследований. Полное площадное исследование проектируемыми методами с одной стороны, нерационально. Поэтому исследование проводится одним или несколькими методами, чаще необходимости, небольшой областью, которые намечены в качестве объектов исследования в зависимости от эффективности их в конкретных условиях.

Важнейшими задачами при выполнении работ, от правильного разрешения которых зависит надежность и экономичность поисков, являются: проектирование оптимального комплекса поисковых работ, определение оптимальных размеров сети наблюдений геофизических и геохимических работ, проектирование оптимального комплекса. Ниже даются основные методические задачи.

Главные требования, предъявляемые к поисковым работам, особенно подстадиям общих поисков, являются: надежность, экономичность, комплексность. Методы должны быть простыми (а не косвенными) по отношению к объекту поисков, высокопроизводительными, экономичными, применимыми к различным типам месторождений фосфоритовых руд. Кроме метода геологической съемки, в комплексе работ должны отвечать геофизические и геохимические методы.

емых при поисках других

ие материалов аэрофото-
мого и инфракрасного из-

геологической съемки по
ниям. В закрытых районах
ждений фосфоритовых руд
нены горнобуровые методы,
вом проверки результатов,

ктивны при поисках всех
уд в различных геологиче-
тся обломочно-речной (рус-
ый, шлиховой, протолично-
очно-речной и валунно-лед-
ся массовым качественным
молибденово-кислого аммо-
го и протолично-шлихового
ностью фосфатных минера-
сравнению с основным ми-
2 г/см³). Поэтому главным
этим методами является
шлиха. Однако результаты
с получением черного шли-
онских золота, олова и не-
нитаться достоверными для
й фосфатных минералов.
й диагностике некоторых
тся полученные серые шли-
а фосфор. Шлихи с интен-
ский анализ.

оразведка, гравирозведка,
ммаспектрометрические и
Применяются при поисках
скопаемых, в том числе и

мические по первичным и
еохимические, биогеохими-
геоботанические методы)

ырье могут производиться
пециально. В первом слу-
емочных работ, методика
геологической съемки, ко-
учае, в стадию поисковых
задачей, направленной на
ка геологической съемки
чи.

Задачи и объекты исследований при проведении поисков изме-
няются по подстадиям поисковых работ (табл. 5). В зависимости
от этого, а также от ожидаемого типа месторождений и степени
сложности геологического строения изучаемой площади в той или
иной мере изменяется методика поисков. Специфика методики по-
исков по отдельным подстадиям в связи с этим рассматривается
ниже применительно к каждому конкретному типу месторожде-
ний фосфоритовых руд в последующих главах.

При проведении поисков в общем случае выполняются сле-
дующие операции: проектирование; уточнение геологии объекта
исследований, рекогносцировочное обследование площади; прове-
дение основного поискового комплекса; выявление и оконтурива-
ние рудопроявлений, рудных тел; подсчет прогнозных запасов и
частично запасов категории С₂; предварительная технологическая
оценка фосфоритовых руд; геолого-экономическая оценка и раз-
бракровка выявленных рудопроявлений на непромышленные и за-
служивающие проведения дальнейших работ; обоснование видов
и объемов проверочных работ, составление ТЭО (для поисково-
оценочной подстадии) и отчета.

Общими принципами, которыми следует руководствоваться
при выполнении поисков, являются: проведение поисковых работ
комплексом геологических, геофизических и геохимических мето-
дов и последовательное ограничение перспективных площадей и
объектов с параллельным увеличением детальности поисковых
исследований. Полное площадное покрытие участка работ всеми
проектируемыми методами с одинаковой детальностью, как пра-
вило, нерационально. Поэтому сначала на площади работ выпол-
няется один или несколько дешевых поисковых методов и, в слу-
чае необходимости, небольшой объем опытных работ теми мето-
дами, которые намечены в качестве детализационных, если степень
эффективности их в конкретных условиях не определена.

Важнейшими задачами при выборе методики поисковых ра-
бот, от правильного разрешения которых зависят эффективность,
надежность и экономичность последних, являются: 1) выбор ра-
ционального комплекса поисковых методов; 2) определение опти-
мальных размеров сети наблюдений; 3) обоснование точности из-
мерений геофизических и геохимических методов, входящих в ра-
циональный комплекс. Ниже даются основные принципы решения
этих методических задач.

Главные требования, предъявляемые к поисковым методам,
особенно подстадии общих поисков, могут быть сформулированы
следующим образом: методы должны быть по возможности пря-
мыми (а не косвенными) по отношению к конкретному типу фос-
форитовых руд, объекту поисков; являться мобильными, недоро-
гими и высокопроизводительными. Применительно к поискам мно-
гих типов месторождений фосфоритовых руд этим требованиям,
кроме метода геологической съемки и изучения опорных разрезов,
отвечают геофизические и геохимические методы, что правдо-

Методика поисков по отдельным подстадиям

Подстадии поисковых работ		поисково-оценочные работы
общие поиски	детальные поиски	
Выявление месторождений или перспективных площадей	Выявление месторождений и проявлений фосфоритовых руд	Изучение и оценка выявленных месторождений и проявлений
1 : 50 000 1 : 25 000	1 : 50 000—1 : 25 000 1 : 25 000—1 : 10 000	1 : 25 000—1 : 10 000 1 : 10 000
Структуры, площади, выделенные в процессе геологической съемки масштаба 1 : 200 000 и 1 : 50 000, геофизических и геохимических исследований	Перспективные площади, участки, выделенные при общих поисках, геофизических и геохимических исследованиях; перспективные площади в районе известных месторождений	Месторождения и проявления, выявленные при детальных или общих поисках, геофизических и геохимических исследованиях
Выделение участков под детальные поиски и проявлений под поисково-оценочные работы. Оценка прогнозных запасов	Оценка участков с выделением месторождений под поисково-оценочные работы. Оценка прогнозных запасов	Предварительная оценка выявленных месторождений; подсчет прогнозных запасов и частотно категория С ₂ ; выделение минеральной подразведку

ковых задач. В качестве детализации подстадиях детальных поисков и могут применяться более дорогие методы.

Неоднозначность интерпретации химических методов при решении поисковых задач вызывает необходимость в результате чего повышаются эффективность поиска, но одновременно увеличивается стоимость.

Под рациональным комплексом поисковых методов понимаются такие методы, которые позволяют решить поставленную задачу [Красников, 1974] с минимальными затратами. Внедрение рационального комплекса методов осуществляется или эмпирическим путем, или путем моделирования на эталонных работах. Оценка эффективности методов проводится сравнительной эффективностью методов совместно тем и другим путем. В решении части задачи) в принципе можно использовать геофизическими или другими методами. Выбор метода из нескольких вариантов основан на оценке эффективности методов. В работе предложено ряд количественных критериев [Новицкий Г. П., 1974]. При выборе методов рассматриваются затраты на выполнение работ, и определяются экономически более целесообразные методы.

Рациональный комплекс методов подбирается к конкретной площади с учетом геологических условий района, типа факторов. В подстадию общих поисков в этот комплекс целесообразно включить следующие методы: аэрофотосъемку в спектротрической области магнитной записи, являющуюся достаточно эффективной при обнаружении фосфоритовых руд; общегеохимические методы (геохимическая съемка, геохимическая съемка) и горные работы.

В подстадию детальных поисков входят гамма-спектрометрия, флуориметрия, флуориметрическая съемка на фосфор и элементы-индикаторы. В подстадию детальных поисков целесообразно широкое применение

следований

Предварительная оценка выявленных месторождений; подсчет прогнозных запасов и частично категории С₂; выделение миний под разведку

спектральные площади в районе известных месторождений

Оценка участков с выделением месторождений под поисково-оценочные работы. Оценка прогнозных запасов

1. 200 000 и 1. 300 000, Геофизических и геохимических исследований

Выделение участков под детальные поиски и проявлений под поисково-оценочные работы. Оценка прогнозных запасов

результаты работ

ковых задач. В качестве детализационных методов, особенно в подстадиях детальных поисков и поисково-оценочных работ, могут применяться более дорогие методы.

Неоднозначность интерпретации данных геофизических и геохимических методов при решении поисковых и других геологических задач вызывает необходимость их комплексирования, в результате чего повышаются эффективность, надежность и глубина поиска, но одновременно увеличиваются затраты.

Под рациональным комплексом геофизических и геохимических методов понимаются такое их сочетание и последовательность выполнения, которые позволяют с максимальной надежностью и минимальными затратами времени и средств решить поставленную задачу [Красников В. И., 1959]. Выбор и обоснование рационального комплекса поисковых методов могут быть осуществлены или эмпирическим способом на основе натурального моделирования на эталонных разрезах и участках посредством проведения опытных работ, или путем количественных расчетов сравнительной эффективности конкурирующих методов, или же совместно тем и другим путем. Если поставленную задачу (или часть задачи) в принципе можно решить двумя или несколькими геофизическими или другими методами, то выбор наиболее целесообразного из нескольких конкурирующих методов решается на основе оценки эффективности каждого из них, для расчета которой предложен ряд количественных методов [Клушин И. Г., 1968; Новицкий Г. П., 1974]. При выборе рационального комплекса рассматриваются затраты на выполнение работ различными конкурирующими методами, и дорогостоящие, трудоемкие заменяются экономически более целесообразными.

Рациональный комплекс исследований определяется применительно к конкретной площади работ с учетом характера задач, геологических условий района, типа месторождений и других факторов. В подстадию общих поисков в сравнительно обнаженных районах в этот комплекс для многих типов месторождений целесообразно включить следующие методы: аэорадиометрическую съемку в спектрометрическом варианте с параллельным каналом магнитной записи, являющуюся универсальной, мобильной и достаточно эффективной при поисках большинства типов месторождений фосфоритовых руд; обломочно-речной и шлиховой методы, а также геохимическую съемку по потокам рассеяния. Эти методы дополняются маршрутными наблюдениями (метод геологической съемки) и горными работами.

В подстадию детальных поисков во многих случаях эффективны гамма-спектрометрия, площадная литогеохимическая съемка на фосфор и элементы-индикаторы, или фторометрия, а также шлиховая съемка. В подстадию поисково-оценочных работ целесообразно широкое применение геофизических методов (гамма-спектрометрия, иногда магниторазведка, электропазведка, грави-

Более конкретно и детально рациональные комплексы поисковых методов расшифровываются для каждой из подстадий поисков в последующих главах применительно к каждому типу месторождений.

Общие принципы, на основе которых производится выбор ориентировки, формы и оптимальных размеров поисковых сетей, заключаются в следующем. Наиболее целесообразной ориентировкой поисковых маршрутов и профилей является направление их вкост господствующего простираня пород, рудоконтролирующих элементов и рудных залежей [Красников В. И., 1959]. Прямоугольная (или квадратная) сеть наблюдений при поисках в большинстве случаев оказывается наиболее эффективной и экономически выгодной. При расчете размеров поисковых сетей руководствуются следующим правилом: поисковая сеть должна строиться таким образом, чтобы обеспечить с определенной наперед заданной вероятностью выявление объектов (рудных залежей, аномалий и др.), по размерам отвечающих промышленным, определенным числом точек наблюдений. Для решения этой задачи разработан ряд методов [Соловов А. П., 1959; Савинский И. Д., 1964; Шурыгин А. М., 1967].

Основываясь на распределении рудных месторождений по крупности [Крейтер В. М., 1940], А. П. Соловов [1968] сделал вывод, что в слабо изученных районах поисковая сеть должна выбираться с расчетом обнаружения всех крупных, либо всех крупных и средних месторождений, что обеспечивает выявление соответственно 65 и 98% всех запасов. Дальнейшее сгущение сети наблюдений ведет к непропорционально большому увеличению затрат при небольшом росте выявленных запасов.

Расчеты, выполненные Г. С. Вахромеевым [1975], показывают, что средние размеры геофизических аномалий над месторождениями черных, цветных металлов, редких элементов и неметаллических полезных ископаемых таковы, что все они без исключения будут обнаружены при наблюдениях по сети 250×100 м минимум двумя точками с гарантийной вероятностью не ниже 0,9. При выполнении условия ортогональности поисковых маршрутов к простиранию аномалий с точностью до $\pm 30^\circ$ эта вероятность поднимается до 1,0 даже при сети 500×100 м.

При определении сети детализационных методов работ дополнительно руководствуются требованием выявления деталей формы и строения поисковых объектов. В силу этого ориентировка, форма и размеры сети наблюдений могут быть самыми разнообразными, в зависимости от поставленных задач, строения конкретного участка поисков и условий проведения работ.

Оптимальная точность наблюдений геофизических и геохимических методов определяется путем решения задачи минимизации затрат на поисковые работы. Точность геофизических работ часто задается значением минимальной амплитуды полезного сигнала, подлежащего обнаружению, и среднеквадратической погрешно-

вым показано [1975], что для чение общей дисперсии, отражений съемки, с одной стороны, колебаниями значений объектов в пространстве — с другой — целесообразно только съемки больше значения при отношении этих величин повыни методически, ни технически использованные экономические образом снижения точности. ки работ: разрежение опорной точных измерений экспрессны [Вахромеев Г. С., 1975, с. 22].

При поисках дается пред оценка месторождения на осно род, предварительных (лабор ний и подсчета прогнозных зап

Задачами геолого-экономич (месторождений, проявлений, дей) являются: выяснение соо ства и запасов сырья требов промышленности; ориентирово питальных вложений в строите объекте и себестоимости прод кондиций и производственной В стадию поисковых работ с возможностью и экономическая сторожения.

При поисках месторожден меновать следующие метод

1) метод экспертных оценок; микро-математического модели

Суть метода экспертных о тизации и анализе различных от экспертов — наиболее ком области [Выховер Н. А., 1971, изученных объектов для одно браковке или продолжении н чения специализированных Н же отдельных специалистов. Затем эти частные заключени ся и анализируются, на осн заключение по оцениваемому отбраковке или дальнейшем и

Метод аналогии используе ке в районах, где еще не вы ния оцениваемого сырья. Су

е комплексы поис-
й из подстадий по-
каждому типу ме-

производится выбор
ов поисковых сетей,
образной ориенти-
руется направление
рудоконтролирую-
В. И., 1959]. Пря-
ний при поисках в
эффективной и эко-
поисковых сетей ру-
вая сеть должна
определенной напе-
ктов (рудных зале-
дих промышленным,
на решения этой за-
П., 1959; Савин-

месторождений по
овов [1968] сделал
ковая сеть должна
упных, либо всех
печивает выявление
ейшее сгущение се-
льшому увеличению
ов.

[1975], показывают,
й над месторожде-
ентов и неметалли-
е они без исключе-
ети 250×100 м ми-
остью не ниже 0,9.
исковых маршрутов
0° эта вероятность

тодов работ допол-
ения деталей фор-
того ориентировка,
ь самыми разнооб-
ч, строения кон-
работ.

ических и геохими-
дачи минимизации
ческих работ часто
полезного сигнала,
ической погрешно-
». Г. С. Вахромее-

вым показано [1975], что для этого правильнее использо-
чение общей дисперсии, отражающее суммарное влияние погреш-
ностей съемки, с одной стороны, и природной дисперсии, опреде-
ляемой колебаниями значений физических параметров изучаемых
объектов в пространстве — с другой. Повышение точности наблю-
дений целесообразно только тогда, когда значение погрешности
съемки больше значения природной дисперсии. При обратном со-
отношении этих величин повышение точности работ не оправдано
ни методически, ни технически. В этом случае «...имеются неис-
пользованные экономические разрезы, базирующиеся на целесо-
образном снижении точности, либо частичном упрощении методи-
ки работ: разрежение опорной сети, отказ от нее, замена высоко-
точных измерений экспрессными соответствующей кратности»
[Вахромеев Г. С., 1975, с. 22].

При поисках дается предварительная геолого-промышленная
оценка месторождения на основе данных опробования руд и по-
род, предварительных (лабораторных) технологических испыта-
ний и подсчета прогнозных запасов.

Задачами геолого-экономической оценки поисковых объектов
(месторождений, проявлений, перспективных участков и площа-
дей) являются: выяснение соответствия условий залегания, каче-
ства и запасов сырья требованиям горнодобывающих отраслей
промышленности; ориентировочное определение необходимых ка-
питальных вложений в строительство карьера, рудника на данном
объекте и себестоимости продукции при различных вариантах
кондиций и производственной мощности будущего предприятия.
В стадию поисковых работ определяется лишь принципиальная
возможность и экономическая целесообразность эксплуатаций ме-
сторождения.

При поисках месторождений фосфоритовых руд можно реко-
мендовать следующие методы геолого-экономической оценки:
1) метод экспертных оценок; 2) метод аналогии; 3) метод эконо-
мико-математического моделирования.

Суть метода экспертных оценок заключается в сборе, система-
тизации и анализе различных предложений и оценок, полученных
от экспертов — наиболее компетентных специалистов в данной
области [Быховер Н. А., 1971, 1973]. При оценке отдельных слабо
изученных объектов для однозначного решения вопроса о его от-
браковке или продолжении на нем работ запрашиваются заклю-
чения специализированных НИИ и проектных организаций, а так-
же отдельных специалистов о его промышленной значимости.
Затем эти частные заключения систематизируются, сопоставляют-
ся и анализируются, на основании чего выдается обобщающее
заключение по оцениваемому объекту при решении вопроса об
отбраковке или дальнейшем изучении объекта.

Метод аналогии используется при геолого-экономической оцен-
ке в районах, где еще не выявлены промышленные месторожде-
ния оцениваемого сырья. Сущность метода состоит в сборе и ана-
лизе имеющейся по оцениваемому объекту или району информа-

ции (геологической, экономико-географической и др.), и в отборе месторождения (предпочтительно эксплуатируемого) с аналогичными или близкими условиями. Установив аналог, переносят затем его основные параметры и технико-экономические показатели на оцениваемый объект (с учетом его специфики). Этот метод во многом субъективен, и результаты, полученные при его применении, носят ориентировочный характер.

Рассмотренные методы являются в основном качественными, сравнительными методами оценки и используются главным образом на подстадии общих поисков.

На подстадиях детальных поисков и поисково-оценочных работ, при наличии соответствующей геологической и экономической информации, целесообразно применять более точные количественные методы геолого-экономической оценки. К ним относится метод экономико-математического моделирования. Этим методом определяются количественные зависимости между параметрами месторождения и экономическими показателями добычи и технологического предела.

Методика и процедура построения и применения экономико-математических моделей при геолого-экономической оценке месторождений фосфатного сырья была разработана ВИЭМС [Киперман Ю. А., Наумова Н. Э., 1974]. Построение модели включает следующие операции: а) подбор и анализ статистических данных и обоснование их достоверности; б) отбор факторов, в наибольшей степени участвующих в формировании затрат; в) определение зависимостей между функцией (затраты) и аргументами (факторы); г) отыскание численных значений параметров экономико-математической модели; д) интерпретация полученной модели.

Для количественной оценки затрат по добыче (функция) в качестве аргументов используются: годовой объем добычи руды, мощность пласта, мощность вскрыши, коэффициент вскрыши, а для оценки технологических затрат—содержание полезного компонента (P_2O_5), вредных примесей, расходного коэффициента, товарного извлечения, объема и качества готовой продукции.

Расчеты осуществляются на ЭВМ последовательным включением факторов (аргументов), что позволяет по величине коэффициента корреляции учитывать изменение силы связи между функцией (стоимостные показатели) и аргументами (природные факторы) при введении каждого из них. С помощью экономико-математического моделирования можно количественно описать процесс формирования затрат на добычу, обогащение и технологическую переработку фосфатного сырья [Киперман Ю. А., Наумова Н. Э., 1974].

При применении этих моделей процедура построения браковочных кондиций для оцениваемых месторождений сводится к нахождению граничных (предельных) параметров качества и запасов, обеспечивающих производство продукции с затратами ниже оценочного критерия. Для месторождений, тяготеющих к дей-

ствующим рудникам, таким оценочным критериям являются перспективные приведенные затраты на эксплуатацию оцениваемого месторождения.

Для новых месторождений, находящихся в Сибири и Дальнем Востоке, по методике ВИЭМС определяются критерии, которые можно получить в процессе эксплуатации источников сырья. Таким критерием является отношение суммарных затрат на привозимые удобрения к объему производства продукции. Критерий представляет собой отношение удельных затрат на удобрения к объему производства продукции с известными затратами на привозимые удобрения. Этот критерий является недостаточным. Имеющиеся данные свидетельствуют о привлекательности месторождений. Однако из рассчитанных критериев следует, что для их эксплуатации следует значительно больше затрат, чем для любого находящегося в эксплуатации месторождения. Любая попытка вовлечения некоторых месторождений вообще проблематична. Критерии по уровню перспективного снижения браковочных кондиций могут вовлекаться месторождения, последующая эксплуатация которых приведет к производству продукции с чрезмерно высокими затратами.

Поэтому при геолого-экономической оценке (независимо от района) за основу следует принимать уровень замыкающей кондиции при наиболее высоких затратах на транспортировку. Дальнейшее продолжение работ должно проводиться при условии, если сумма затрат на производство продукции ($PЗ$ прод.) не превышает величину $PЗ$ прод. + $PЗ$ тр. $\leq K$.

Подстадия поисково-оценочных работ является переходной к поискам, на которых выявлены рудники. В эту подстадию применяется метод минералогических, геофизических и геохимических исследований, в которых ведущее значение при отборе месторождений имеет опробование. Параметры поиска определяются из описанных выше принципов. При этом определяется необходимость получения

штабу прогнозных запасов и частично по категории C_2 , но и по качеству фосфоритовых руд.

Поисковую сеть при поисково-оценочных работах целесообразно проектировать таким образом, чтобы ее можно было бы впоследствии использовать при предварительной разведке. Поэтому можно ориентироваться на параметры сети, установленные инструкциями для предварительной разведки, допуская некоторое разрежение ее [Аристов В. В., 1975; Борзунов В. М., 1971].

Перспективная оценка работ завершается составлением технико-экономического обоснования целесообразности перехода к предварительной разведке (ТЭО). В ТЭО рассматриваются [Аристов В. В., 1975]: 1) результаты поисково-оценочных работ; 2) возможный промышленный тип оцениваемого месторождения; 3) сопоставление с аналогичными известными месторождениями; 4) требования промышленности к данному типу фосфатного сырья и результаты предварительных технологических испытаний; 5) ожидаемые запасы руд (прогнозные и категории C_2); качество руд, комплексность и другие их характеристики; 6) экономические условия района (транспорт, энергетическая база, промышленность и др.) и геолого-экономическая оценка проявления; 7) выводы о том, заслуживает ли нет данное проявление постановки предварительной разведки.

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ МЕТОДИКИ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ И ГЕОХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРИ ПРОГНОЗИРОВАНИИ И ПОИСКАХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ФОСФОРИТОВЫХ РУД

Геофизические исследования

Благоприятными предпосылками для применения геофизических методов при прогнозе, поисках и изучении месторождений фосфоритовых руд являются различия в физических свойствах фосфоритов и вмещающих пород, с одной стороны, и наличие контрастных физических полей, присущих контролирующим размещение этих руд геологическим элементам, с другой. Фосфоритовые руды большинства известных месторождений отличаются от вмещающих пород радиоактивностью. Богатые фосфоритовые руды некоторых месторождений иногда выделяются также по плотности и другим физическим свойствам [Применение..., 1972; Семенов Г. С., 1972; и др.].

Установленная для большинства фосфоритоносных бассейнов мира повышенная радиоактивность фосфоритов и фосфоритовых руд обусловлена концентрацией в них урана [Lenoble A. e. a., 1952; Davidson C. F., Atkin D., 1953; Thompson M. E., 1953; Колчина А. Г., 1967; Суярова О. В., 1971; Карпова М. И. и др., 1974;

[Карпова М. И. и др., 1974; и др.] вмещающих их пород уран связан в основном, но и с глауконитом, сидеритом, и глинистыми минералами. Между активностью фосфоритов довольно тесная корреляционная связь, но поскольку активность фосфоритов зависит от многих факторов, месторождения наблюдаются с разной активностью в зависимости от содержания фосфора (табл. 6, 7).

При решении различных задач по поиску фосфоритовых руд радиометрические методы показали достаточно высокую эффективность. В Горной Шории и других районах некоторые продуктивные месторождения карбонатных формаций и формаций (вместе с фосфоритовым месторождением) выявлялись аэорадиометрическими методами (вместе с месторождением). На месторождениях, Богградском и Коржовском (вместе с месторождением) выявлялись аэорадиометрическими методами (вместе с месторождением).

Фторометрическими методами выявлены аномалии в горизонте месторождений Каратау, Казанского и проявления Поперечного в месторождениях Казахстана достигнута чувствительность определений фтора (0,07%) и дискретно-точечных фторометрических методов (фторометрический метод) для оценки их мощностей, установления запасов.

В Горной Шории и Кузнецком бассейне фосфатные карбонатные комплексы отмечаются мощностью (100—500 г), отрицательными значениями ΔZ . Магниторазведка и гравиразведка выявляют особенности геологических элементов, но-тектонических элементов, карбонатных комплексов.

Фосфоритовые руды и карбонатные комплексы (Белкинское месторождение) прослеживаются по данным магниторазведки (средней частоты ρ_k (≈ 250 Ом·м) средние значения ρ_k (≈ 250 Ом·м) вмещающих известняков и карбонатных образований карстовые образования фосфоритовых руд (Обладжанское месторождение) выявлены калевыми аномалиями ΔZ и по данным гравиразведки. Их конфигурация

по категории C_2 , но и по

ных работах целесообразно ее можно было бы в полной мере использовать в разведке. Поэтому сети, установленные индексы, допуская некоторое отклонение [Арзунов В. М., 1971].

фосфатных руд в процессе составления технико-экономических обоснований к предпринятию работ по разведке и освоению месторождения, а также к другим месторождениям; 4) по типу фосфатного сырья (результаты геологических испытаний; 5) категория C_2); качество сырья; 6) экономическая база, промышленная оценка проявления; 7) данное проявление поста-

МЕТОДИКА ИХ ИССЛЕДОВАНИИ В РАЙОНАХ МЕСТОРОЖДЕНИИ РУД

исследования

я применения геофизических методов в изучении месторождений в физических свойствах и в геохимии, и наличие их контролирующих разломов, с другой. Фосфоритовые месторождения отличаются от других. Богатые фосфоритовые месторождения выделяются также по геохимическим признакам [Применение..., 1972;

фосфоритовых бассейнов фосфоритов и фосфоритовых месторождений урана [Lenoble A. e. a., Thompson M. E., 1953; Колупаева М. И. и др., 1974; 1975; и др.]. Выяснено

[Карпова М. И. и др., 1974; и др.], что в фосфоритовых рудах и вмещающих их пород уран связан не только с фосфатным веществом, но и с глаукоцитом, сидеритом, гидроокислами железа, пиритом и глинистыми минералами. Между содержанием P_2O_5 и радиоактивностью фосфоритов довольно часто наблюдается прямая корреляционная связь, но поскольку степень радиоактивности фосфоритов зависит от многих факторов, для каждого района или месторождения наблюдается своя определенная зависимость между содержаниями фосфора и радиоактивных элементов (табл. 6, 7).

При решении различных задач при поисках и изучении фосфоритовых руд радиометрические и другие геофизические методы показали достаточно высокую результативность и экономическую эффективность. В Горной Шории, Кузнецком Алатау и других районах некоторые продуктивные залежи, связанные с группой карбонатных формаций и формацией коры выветривания, выделялись аэrorадиометрическими аномалиями (до 12 мкР/ч над Белкинским месторождением). На Обладжанском, Телекском месторождениях, Боградском и Коржельском проявлениях аэрогамма-спектрометрической съемкой выявлены перспективные площади.

Фторометрическими аномалиями отмечаются фосфоритовые горизонты месторождений Каратаг, Зидды (Средняя Азия) и Ухагольского и проявления Поперечного в Забайкалье. На месторождениях Казахстана достигнута достаточно высокая пороговая чувствительность определений фтора при непрерывных (порядка 0,07%) и дискретно-точечных (0,02—0,05%) измерениях. НА-каротаж широко использовался для выделения фосфоритовых руд, оценки их мощностей, установления содержания P_2O_5 и подсчета запасов.

В Горной Шории и Кузнецком Алатау по данным магниторазведки фосфатные карбонатные породы и рудовмещающие карбонатные комплексы отмечаются слабоинтенсивными положительными (100—500 γ), отрицательными или близкими к нулю полями ΔZ . Магниторазведка и гравиразведка применялись для уточнения особенностей геологического строения, выделения структурно-тектонических элементов, картирования эффузивных и интрузивных комплексов.

Фосфоритовые руды и карбонатные фосфориты Кузнецкого Алатау (Белкинское месторождение, Белоусинский и другие участки) прослеживаются по данным СЭП и ДЭП пониженными значениями ρ_k (≈ 250 Ом·м) среди более высокоомных (1100—1200 Ом·м) вмещающих известняков. Выполненные фосфатными образованиями карстовые полости ряда месторождений фосфоритовых руд (Обладжанское и др.) отмечаются локальными аномалиями ΔZ и пониженными значениями ρ_k на графиках СЭП. Их конфигурация и глубины успешно уточняются методом ВЭЗ.

Характеристика радиоактивности фосфоритовых руд

Тип Фосфоритов, руд	Фосфоритовые бассейны, районы	Значение радиоактивности		Источники сведений
		фосфоритовые руды	выщелачивающие породы	
Микрозернистые	Скалистых Гор (в целом)	$U_{\text{экв}} = 0,001 - 0,15\%$		С. F. Davidson, D. Atkin [1953], В. E. Мак-Келви [1958] М. E. Thompson [1953], В. E. Мак-Келви [1958]
	Скалистых Гор (штаты Айдахо, Юта)	$U_{\text{экв}} = 0,005 - 0,12\%$		
Зернистые	Каратауский	25—35 мкР/ч	6—8 мкР/ч	О. В. Суярова [1971]; Ядерно-физические... [1975] и др.
	Хубсугульский Улско-Селемджинский	16—23 мкР/ч 16—23 мкР/ч	10 мкР/ч 10 мкР/ч	Выяснение... [1974]
Ракушечные Зторичные	Бассейны Северной Африки	$U_{\text{экв}} = 0,006 - 0,034\%$		С. F. Davidson, D. Atkin [1953]
	Среднеазиатский Прибалтийско-Ладожский Средний и Южный Урал Алтае-Саянский	16—20 мкР/ч 10—20 ÷ 40—50 мкР/ч 10—15 мкР/ч 6—40, иногда до 300—400 мкР/ч и более	12—16 мкР/ч 5 мкР/ч 6—8 мкР/ч 4—5, иногда до 10 мкР/ч	Л. Б. Сочеванова [1967] Г. И. Спандераливили, Ф. И. Рубаха [1962], А. Н. Сухарина, Ф. И. Рубаха [1962]

Парные коэффициенты корреляции между содержаниями P_2O_5 и параметрами радиоактивности фосфоритовых руд

Месторождение	Тип фосфоритовых руд	Параметр	Коэффициент корреляции	Уравнение регрессии	Источник
Аксай Джанатау Чулакту Карасанское	Микрозернистый	γ	0,9	$P_2O_5 = 0,028 \gamma - 0,09$	О. В. Суярова [1971]
		"	0,86	$P_2O_5 = 0,027 \gamma - 0,359$	" "
		U	0,9	$P_2O_5 = 0,015 U - 3,6$	По материалам А. И. Лаубенбаха
Гамальское Эмат, Гузлюб, Каратау	Зернистый	γ	0,7 0,63	$\gamma = 2,5 U - 1,9$	По материалам

Месторождение	Тип фосфоритовых руд	Параметр	Коэффициент корреляции	Уравнение регрессии	Источник
Ракушняк ковые торчаны	Микрозернистый	γ	0,9	$P_2O_5 = 0,028 \gamma - 0,09$	О. В. Суярова [1971]
Среднеазнатский	"	"	0,86	$P_2O_5 = 0,027 \gamma - 0,359$	"
Прибалтийско-Ладож- ский	"	\bar{U}	0,9	$P_2O_5 = 0,045 \bar{U} - 3,6$	"
Средний и Южный Урал	"	"	0,3	Нет данных	"
Алтае-Саянский	"	"	0,7	Нет данных	"
	Зернистый	γ	0,83	$\gamma = 2,51 P_2O_5 + 9,2$	По материалам А. И. Лаубенбаха
	"	U	0,9	Нет данных	По материалам В. А. Большова
	Желваковый	Th	0,83	"	"
	"	U	0,9	"	"
	Ракушняковский	"	0,89	"	По материалам А. И. Лаубенбаха
	"	"	0,95	"	"
	"	γ	0,9	$\gamma = 100 P_2O_5 + 380$	"
	"	U	0,9	Нет данных	По материалам Э. В. Ан- чевского и др.
	Коры выветривания	"	0,95	Нет данных	По материалам Ю. М. Рудька
	"	"	0,84	Нет данных	По материалам А. И. Лаубенбаха
	"	"	0,44	"	"

Примечание: γ — общая радиоактивность; U — содержание урана, Th — содержание тория.

Парные коэффициенты корреляции между содержаниями P_2O_5 и параметрами радиоактивности фосфоритовых руд

Основные геологические задачи, решаемые геофизическими методами при прогнозировании и поисках месторождений фосфатного сырья

Этапы исследований	Решаемые задачи	Комплексы геофизических методов	Методические особенности
<p>Поиски всех подстадий и прогноз среднего и крупномасштабного масштаба</p> <p>Поиски, крупномасштабный прогноз</p> <p>Поиски и прогноз среднего и крупного масштаба</p> <p>Поиски, иногда крупномасштабный прогноз</p>	<p>Уточнение особенностей геологического строения, выделения продуктивных формаций</p> <p>Трассирование тектонических нарушений, зон трещиноватости</p> <p>Уточнение контактов карбонатных пород</p> <p>Оконтуривание интрузивных комплексов</p>	<p>Магнито-гравразведка, радиометрия, иногда сейсморазведка</p> <p>Магниторазведка, электропрофилирование и гамма-спектрография</p> <p>Магниторазведка, электропрофилирование</p> <p>Магниторазведка в комплексе с гравразведкой или электрографией, иногда с сейсморазведкой</p> <p>Электрографией методами симметричного или комбинированного профилирования, естественного поля, заряженного тела, ВП и в модификациях переменного тока</p> <p>Нейтронно-активационные методы, гамма-спектрометрия в комплексе с литогеохимической съемкой</p> <p>Малоглубинная сейсморазведка, иногда другие методы</p> <p>Нейтронно-активационные методы, гамма-спектрометрия, радиометрия, литогеохимические съемки</p>	<p>Анализ и переинтерпретация выомненных ранее площадных съемок</p> <p>Наблюдения по профилям вквост простирания прослеживаемого элемента</p> <p>Аэро- или наземные площадные работы</p> <p>Площадные или профильные работы</p> <p>Площадные работы, измерения в скважинах</p>
<p>Поиски всех подстадий</p>	<p>Оконтуривание геологических элементов, содержащих электропроводящие минералы (сульфиды, графит)</p>	<p>Электрографией методами симметричного или комбинированного профилирования, естественного поля, заряженного тела, ВП и в модификациях переменного тока</p> <p>Нейтронно-активационные методы, гамма-спектрометрия в комплексе с литогеохимической съемкой</p> <p>Малоглубинная сейсморазведка, иногда другие методы</p> <p>Нейтронно-активационные методы, гамма-спектрометрия, радиометрия, литогеохимические съемки</p>	<p>Площадные работы, измерения в скважинах</p>
<p>То же</p>	<p>Поиски продуктивных тел</p>	<p>Электрографией методами симметричного или комбинированного профилирования, естественного поля, заряженного тела, ВП и в модификациях переменного тока</p> <p>Нейтронно-активационные методы, гамма-спектрометрия в комплексе с литогеохимической съемкой</p> <p>Малоглубинная сейсморазведка, иногда другие методы</p> <p>Нейтронно-активационные методы, гамма-спектрометрия, радиометрия, литогеохимические съемки</p>	<p>Площадные работы, измерения в скважинах</p>
<p>Детальные поиски и поисково-оценочные работы</p> <p>То же</p>	<p>Прослеживание пластообразных залежей руд</p> <p>Оконтуривание рудных залежей</p>	<p>Электрографией методами симметричного или комбинированного профилирования, естественного поля, заряженного тела, ВП и в модификациях переменного тока</p> <p>Нейтронно-активационные методы, гамма-спектрометрия в комплексе с литогеохимической съемкой</p> <p>Малоглубинная сейсморазведка, иногда другие методы</p> <p>Нейтронно-активационные методы, гамма-спектрометрия, радиометрия, литогеохимические съемки</p>	<p>Площадные работы, измерения в скважинах</p> <p>Профильные наблюдения</p> <p>Площадные, маршрутные съемки, исследования в скважинах и горных выработках</p>
<p>То же</p>	<p>Определение содержания P_2O_5 и других компонентов в породах, рудах и оценка качества последних</p> <p>Определение мощности рудных отложений</p>	<p>Нейтронно-активационные методы, реже радиометрия</p>	<p>Площадные и маршрутные съемки, исследования на обнажениях, в горных выработках и скважинах</p> <p>Профильные и площадные работы, опирающиеся на буровые скважины</p>
<p>Поиски разных подстадий, крупномасштабный прогноз</p>	<p>Определение содержания P_2O_5 и других компонентов в породах, рудах и оценка качества последних</p> <p>Определение мощности рудных отложений</p>	<p>Нейтронно-активационные методы, реже радиометрия</p> <p>Метод ВЭЗ, иногда в комплексе с симметричным профилированием, сейсморазведка МПВ</p>	<p>Площадные и маршрутные съемки, исследования на обнажениях, в горных выработках и скважинах</p> <p>Профильные и площадные работы, опирающиеся на буровые скважины</p>

На Егорьевских месторождениях фосфоритов выделялись для анализа образцы с разных горизонтов. Прибалтийские месторождения фосфоритов выделялись для анализа образцы с разных горизонтов.

По результатам исследований обнаружены фосфоритовые месторождения в Симском и Горной Шории.

В отечественной практике более широко применялись методы А. Н., Рудника (1965; Определитель (1967; Сочетание (1968; Примечание (1972; Радиометрия).

При радиометрических исследованиях скважинных пород (1972) одновременно радиометрические методы определяли радиоактивность пород.

Радиометрические методы определяют радиоактивность пород, что не всегда целесообразно называть радиоактивными породами. Радиоактивные породы имеют линейную зависимость от содержания фосфора до 0,98%.

Основными методами радиометрических исследований являются:

Площадные съемки

Профильные наблюдения

Площадные, маршрутные съемки, исследования в скважинах и горных выработках

Площадные и маршрутные съемки, исследования на обнажениях, в горных выработках и скважинах

Профильные и площадные работы, опирающиеся на буровые скважины

Площадные съемки

Профильные наблюдения

Площадные, маршрутные съемки, исследования в скважинах и горных выработках

Площадные и маршрутные съемки, исследования на обнажениях, в горных выработках и скважинах

Профильные и площадные работы, опирающиеся на буровые скважины

Площадные и маршрутные съемки, исследования на обнажениях, в горных выработках и скважинах

Профильные и площадные работы, опирающиеся на буровые скважины

Площадные и маршрутные съемки, исследования на обнажениях, в горных выработках и скважинах

Профильные и площадные работы, опирающиеся на буровые скважины

Площадные и маршрутные съемки, исследования на обнажениях, в горных выработках и скважинах

Профильные и площадные работы, опирающиеся на буровые скважины

Площадные и маршрутные съемки, исследования на обнажениях, в горных выработках и скважинах

Профильные и площадные работы, опирающиеся на буровые скважины

Площадные и маршрутные съемки, исследования на обнажениях, в горных выработках и скважинах

Профильные и площадные работы, опирающиеся на буровые скважины

Площадные и маршрутные съемки, исследования на обнажениях, в горных выработках и скважинах

Профильные и площадные работы, опирающиеся на буровые скважины

Площадные и маршрутные съемки, исследования на обнажениях, в горных выработках и скважинах

Профильные и площадные работы, опирающиеся на буровые скважины

Площадные и маршрутные съемки, исследования на обнажениях, в горных выработках и скважинах

Профильные и площадные работы, опирающиеся на буровые скважины

Площадные и маршрутные съемки, исследования на обнажениях, в горных выработках и скважинах

Профильные и площадные работы, опирающиеся на буровые скважины

Площадные и маршрутные съемки, исследования на обнажениях, в горных выработках и скважинах

Профильные и площадные работы, опирающиеся на буровые скважины

Площадные и маршрутные съемки, исследования на обнажениях, в горных выработках и скважинах

Профильные и площадные работы, опирающиеся на буровые скважины

Площадные и маршрутные съемки, исследования на обнажениях, в горных выработках и скважинах

Профильные и площадные работы, опирающиеся на буровые скважины

На Егорьевском месторождении желваковых фосфоритов радиометрические методы использовались для определения границ фосфоритонесных горизонтов, оценки содержания P_2O_5 и подсчета запасов. Радиометрическим каротажем выделялись продуктивные горизонты на месторождениях ракушняковых фосфоритовых руд Прибалтийско-Ладожского бассейна.

По результатам геофизических исследований обнаружен ряд месторождений и проявлений фосфоритовых руд: Тастыкольское в Казахстане, Симское на Урале, Телекское и другие в Горной Шории и Восточных Саянах и в некоторых других регионах.

В отечественной и зарубежной геологоразведочной практике из геофизических методов наиболее широко используется радиометрия [Спандерашвили Г. И., Рубаха Ф. И., 1962; Сухарина А. Н., Рубаха Ф. И., 1962; Сучков В. П., 1965; Определение..., 1966; Колчина А. Г., 1967; Сочеванова Л. Б., 1967; Смилкстын А. О., 1968; Применение..., 1972; Митрюшин А. Н., 1972; Радиометрический..., 1974; и др.]

При радиометрических исследованиях наибольшую информативность обеспечивают спектрометрические модификации аэро-, наземных и скважинных методов [Гамма-спектрометрический..., 1975; Закономерности..., 1975; Ядерно-физические..., 1975; и др.], позволяющие одновременно с изучением суммарной естественной радиоактивности осуществлять отдельные определения содержаний U (Ra), Th и K.

Радиометрические исследования, в том числе и спектрометрические, не универсальны, поскольку корреляция общей радиоактивности и ее $U-Ra$ -составляющей с фосфором имеет место не всегда. В этом отношении более перспективны наземные и скважинные нейтронно-активационные методы, основанные на тесной, почти линейной связи R и F с коэффициентом корреляции до 0,98 [Применение..., 1972; Ядерно-физические..., 1975; и др.].

Основные геологические задачи, решаемые различными геофизическими методами при прогнозировании и поисках месторождений фосфоритовых руд, приведены в табл. 8. Исходя из физико-геологических предпосылок и опыта геофизических исследований на месторождениях фосфоритов, здесь же намечены комплексы геофизи-

ческих методов, рекомендуемые для поисков перспективных площадей и оконтуривания продуктивных залежей различных типов фосфоритовых руд. Комплексы геофизических методов, рекомендуемых для поисков перспективных площадей, не являются универсальными, так как эффективность применения любого метода определяется особенностями геологического строения конкретной площади исследований и физическими свойствами развитых здесь фосфоритовых руд и вмещающих их пород. Выбор рационального комплекса геофизических исследований для конкретных объектов осуществляется с учетом общих требований и положений методики прогнозирования и поисков месторождений фосфоритовых руд.

Геохимические исследования

Предпосылками эффективного применения геохимических методов при прогнозировании и поисках месторождений фосфатного сырья являются, во-первых, наличие первичных (в коренных породах) и вторичных (в рыхлых отложениях) ореолов рассеяния фосфора и элементов-индикаторов фосфоритовых руд, по размерам значительно превышающих размеры продуктивных залежей, и, во-вторых, контрастность геохимических полей по содержаниям определенных ассоциаций химических элементов или их соотношениям в пределах геологических элементов, контролирующих размещение фосфоритовых руд.

Для решения поисковых задач из различных геохимических методов наиболее применимо литогеохимическое опробование по вторичным ореолам рассеяния фосфора. Работы этим методом проводились на месторождениях Алтае-Саянского (Белкинское, Телекское, Обладжанское и др.), Каратауского, Удско-Селем-Еджинского и других фосфоритоносных бассейнов. Опыт литогеохимического опробования по вторичным ореолам рассеяния фосфора свидетельствует, что на выходах фосфоритовых руд различного типа образуются вторичные ореолы рассеяния с содержанием фосфора до 5—10%. При наличии над фосфоритовыми рудами элювиально-делювиальных отложений мощностью 5—10 м содержания фосфора во вторичных ореолах рассеяния составляют 0,1—1%.

Если фосфоритовые руды перекрываются рыхлыми образованиями (аллювиальными, ледниковыми, эоловыми и др.), принесенными издалека, последние даже при мощности в первые метры полностью экранируют коренные породы и препятствуют образованию вторичных ореолов рассеяния фосфора и элементов-индикаторов. В этих условиях литогеохимическое опробование становится неэффективным, но другие геохимические (гидрогеохимический, биогеохимический) методы могут сохранить поисковое значение.

Геохимические методы при прогнозировании и поисках месторождений фосфоритовых руд применяются в комплексе с геофи-

зическими, минералогическими и геохимическими методами — выявление ореолов элементов-индикаторов. В этих случаях применяются геофизические методы, позволяющие при небольшой мощности отложений охарактеризовать форму и характер рудных залежей, например, маршрутного опробования, в сочетании с локальным прогнозированием, рассеяния фосфора и элементов-индикаторов. Геохимические исследования могут быть дополнены другими задачами, например, на участках, содержащих продуктивные залежи.

В подстадию общих поисков производится в комплексе с магниторазведкой с целью выявления фосфора и элементов-индикаторов геохимических и геофизических методов. Прямые поисковые работы выполняются с помощью поисковыми приямками, размерами 200×20 м в комплексе с другими методами, которые в условиях исследования являются предпосылками для решения поисковых задач.

В подстадии детальных геохимических исследований литогеохимическое опробование производится по формам ореолов и потоков элементов-индикаторов, локализации выходов руд, поисковые работы этих подстадий, перспективность которых должна быть подтверждена геологическими элементами, к которым относятся фосфатные руды и фосфориты, например, с помощью геохимических исследований на отдельных горизонтах массивов пород кремнисто-карбонатного типа, гильском и других бассейнов. Геохимические исследования проводятся по отношению характерных геохимических критериев, для каждого конкретного объекта выполняются опытные работы; 2) уточнение границ области фосфатонакопления. Геохимические исследования проводятся путем опробования коренных пород и на обнажениях.

ов перспективных площадей различных типов методов, рекомендуемых, не являются универсальными. Любого метода определения конкретной площади развитых здесь фосфоритовых руд. Выбор рационального комплекса конкретных объектов и их положений методики фосфоритовых руд.

вания

ения геохимических месторождений фосфатно-первичных (в коренных породах) ореолов рассеяния фосфоритовых руд, по разрывам продуктивных залежей фосфоритовых руд по содержанию фосфорных элементов или их соединений, контролирующе-

различных геохимических исследований. Геохимическое опробование по методу работ этим методом в Саянском (Белкинское, Удско-Селемтеевское, Удско-Селемтеевское). Опыт литогеохимического опробования фосфоритовых руд различного содержания фосфоритовыми рудами мощностью 5—10 м содержания составляют

тятся рыхлыми образованиями и др.), принесенности в первые метры и препятствуют образованию фосфоритовых руд. Геохимическое опробование становится (гидрогеохимическое) сохранить поисковое

вания и поисках месторождений в комплексе с геофи-

зическими, минералогическими и геологическими. При региональных прогнозных исследованиях основная задача геохимических методов — выявление ореолов и потоков рассеяния фосфора и элементов-индикаторов. В этих случаях целесообразно применение легких, рекогносцировочных модификаций геохимических методов, позволяющих при небольших затратах получить общую информацию о характере рудоносности исследуемой территории, например, маршрутного опробования элювиально-делювиальных отложений в комбинации с опробованием донных осадков. При локальном прогнозировании, кроме выявления ореолов и потоков рассеяния фосфора и элементов-индикаторов, геохимические исследования могут быть дополнительно нацелены на решение и других задач, например, на расчленение монотонных осадочных толщ, содержащих продуктивные образования, и др.

В подстадию общих поисков маршрутное геохимическое опробование производится в комплексе с аэрогамма-спектрометрией и магниторазведкой с целью выявления ореолов и потоков рассеяния фосфора и элементов-индикаторов. Затем на выявленных геохимических и геофизических аномалиях и на других площадях с прямыми поисковыми признаками фосфоритовых руд производятся детализационные работы с отбором проб по сети 100×20 или 200×20 м в комплексе с теми геофизическими методами, которые в условиях исследуемого района имеют благоприятные предпосылки для решения поисковых задач.

В подстадии детальных поисков и поисково-оценочных работ геохимические исследования применяются в виде площадного литогеохимического опробования элювиально-делювиальных отложений, а также опробования коренных пород с целью уточнения формы ореолов и потоков рассеяния фосфора и элементов-индикаторов, локализации выходов фосфатных руд и др. Поскольку поисковые работы этих подстадий проводятся в пределах площадей, перспективность которых уже определена, геохимические исследования должны применяться для изучения или выявления геологических элементов, которые тем или иным образом связаны с фосфатными рудами и играют роль поисковых критериев. Например, с помощью геохимических методов можно: 1) расчленять на отдельные горизонты мощные монотонные толщи карбонатных пород кремнисто-карбонатной формации в Каратауском, Хубсугульском и других бассейнах с целью определения структуры рудных полей и глубины залегания продуктивных на микрозернистые фосфоритовые руды горизонтов, для чего могут быть использованы отношения характерных элементов, например $Ti : Mn$, и другие геохимические критерии, которые находятся эмпирически для каждого конкретного объекта путем проведения специальных опытных работ; 2) уточнить положение на фациальном профиле области фосфатонакопления в фосфоритоносном бассейне и т. д. Геохимические исследования для решения таких задач проводятся путем опробования коренных пород в горных выработках, скважинах и на обнажениях.

Глава IV ФОСФОРИТОНОСНЫЕ БАСЕЙНЫ И ФОСФОРИТОНОСНЫЕ ФОРМАЦИИ

На территории СССР выделяются 11 фосфоритоносных бассейнов, различающихся по составу развитых в них конкретных фосфоритоносных формаций, типам месторождений фосфоритовых руд и другим признакам (табл. 9). За рубежом к наиболее изученным и имеющим наибольшее практическое значение относятся фосфоритоносные бассейны Скалистых гор, Северо-Австралийский, а также расположенные на севере Африки и на Ближнем Востоке. Ниже они рассматриваются в качестве эталонных (см. гл. V и VI).

Применительно к целям прогнозирования все типовые фосфоритоносные формации можно подразделить на две категории: продуктивные — те, с которыми связаны известные промышленные месторождения, и неясной продуктивности, в связи с которыми известны только непромышленные месторождения и (или) фосфатопоявления, точки минерализации и фосфатсодержащие породы.

В определенных случаях из категории продуктивных фосфоритоносных формаций оправдано выделение высокопродуктивных, с которыми связаны уникальные и крупные месторождения. Очевидно, при выявлении промышленных месторождений в какой-либо фосфоритоносной формации неясной продуктивности она должна быть переведена в категорию продуктивных.

Фосфоритоносные формации представлены во всех трех главных классах геологических формаций: платформенных, геосинклинальных и орогенных. Геосинклинальные фосфоритоносные формации могут быть подразделены на многогеосинклинальные, распространенные, например, в бассейнах Каратауском, Северо-Австралийском, Скалистых гор и некоторых других, и эвгеосинклинальные, представителем которых является фосфоритоносная формация Алтае-Саянского бассейна (см. гл. V). Главными компонентами, слагающими их, служат карбонатные или терригенные, реже кремнистые или вулканогенные породы. По этому признаку вся совокупность фосфоритоносных формаций разделяется на четыре группы: карбонатных, терригенных, кремнистых и вулканогенных фосфоритоносных формаций. В последних двух промышленных месторождения неизвестны. Кроме того, принято выделять (по генетическому признаку, а не вещественному составу) еще фосфоритоносную формацию коры выветривания, конкретные представители которой тоже могут подразделяться по составу слагающих фор-

Таблица 9

Характеристика фосфоритоносных бассейнов СССР

Фосфоритоносный бассейн	Продуктивная фосфоритоносная формация	Основной тип фосфоритовых руд	Разведанные запасы P_2O_5 на 1.1.1977 г., %	Месторождения	
				Масштаб	Примеры
Каратауский	Кремнисто-карбонатная	Микрозернистый	44,0	Крупные; эксплуатируются	Аксай, Джанатаз, Коксу, Кокджон
Хубсугульский (или Окно-Хубсугульский)	"	"	—	Средние, крупные; разведуются	Хубсугульское, Ухатольское
Волжский	Глауконито-терригенная	Желваковый	28,3	Мелкие, единичные; средние крупные; разведываются	Витско-Камские, Горьковские

осные формации в от-
другим признакам мо-
рмации.

продуктивности пред-
дуктивных фосфорито-
емя насчитывается все-
е карбонатных (крем-
о-карбонатная), две —
нная и органогенно-
Пятой продуктивной
выветривания. Кроме
сло продуктивных мо-
о-вулканогенно-кремни-
жающая к группе крем-
джинском фосфорито-
ормация изучена на-
й, а промышленная
в настоящее время

Таблица 11

Поисковые признаки месторождений фосфоритовых руд

Поисковые признаки	Содержание
Прямые	Проявления фосфоритов и фосфатсодержащих пород соответствующего типа; выходы фосфоритовых руд. Обломки и свалы фосфоритов, фосфатных пород, фосфатизированной фауны и флоры в делювии, гальки этих образований в аллювии. Шлиховые ореолы фосфатных минералов фосфоритов
Косвенные: геологические	Выходы, свалы, обломки и гальки сопутствующих фосфоритам пород и минералов, характерных и маркирующих пород вмещающих толщ Аэро- и наземные радиометрические и другие геофизические аномалии, связанные с фосфоритовыми рудами, специфическими вмещающими породами, их ореолами и потоками рассеяния в рыхлых отложениях и водах Геохимические аномалии фосфора, фтора, а также элементов-индикаторов в коренных породах, рыхлых отложениях, поверхностных и подземных водах и растениях
геофизические	
геохимические	

Таблица 10

формации СССР

Геологическое положение	Разведанные запасы P_2O_5 на 1/1 1977 г., %
	45,7
Клинали, эв-	45,7
и	
е зоны от	—
геосинкли-	
	51,8
	46,2
	5,6
е на гео-	2,5
ые форма-	
тной группы	

Все продуктивные фосфоритоносные формации обладают рядом общих признаков, которые являются важными при прогнозировании: приуроченностью к относительно стабильным участкам крупных структурных элементов земной коры, сокращенной мощностью, приуроченностью к мелководным, близбереговым зонам или внутрибассейновым поднятиям, фациальной изменчивостью и др. Кроме того, каждая типовая продуктивная фосфоритоносная формация обладает набором специфических, свойственных только ей признаков.

Рассматриваемые ниже эталонные примеры конкретных фосфоритоносных объектов свидетельствуют, что каждая конкретная фосфоритоносная формация, распространенная в том или ином фосфоритоносном бассейне или районе, характеризуется определенными особенностями, а диапазон изменения каждого из признаков у нее, как правило, значительно уже, чем у общей типовой модели. Поэтому в пределах каждой конкретной территории прогнозные критерии должны конкретизироваться; например, возрастное положение следует ограничивать более узкими стратиграфическими интервалами, установленными для известных в этом бассейне месторождений, и уточнять другие признаки.

Каждой типовой продуктивной фосфоритоносной формации свойствен определенный минерально-петрографический тип (реже

ых руд (см. табл. 9).
й формации харак-
крозернистых фосфо-
бонатной — месторож-
й — желваковых, ор-
форитовых руд.
ни, кроме прогнозных
дующих разделах при-
есторождений фосфо-
дополнительно исполь-
нительной степени яв-
ождений (табл. 11).

Глава V

МЕСТОРОЖДЕНИЯ ФОСФОРИТОВЫХ РУД, СВЯЗАННЫХ С ГРУППОЙ КАРБОНАТНЫХ ФОРМАЦИЙ; ИХ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ И ПОИСКИ

Среди фосфоритовых руд, связанных с карбонатной группой формаций, выделяются два типа: микрозернистый и зернистый.

Месторождения микрозернистых руд развиты в пределах Центрально-Азиатской фосфоритоносной провинции, в которую входят Каратауский, Алтае-Саянский и Хубсугульский бассейны с фосфоритами соответственно нижнекембрийского, кембро-рифейского и вендского возраста. Кроме того, они известны в провинции Северо-Американских Кордильер с находящимся здесь бассейном Скалистых гор, фосфоритовые руды которого имеют пермский возраст, и в Северо-Австралийском (Джорджина) бассейне, где возраст фосфоритовых руд среднекембрийский.

Микрозернистые фосфориты и фосфоритовые руды представляют собой массивную породу, состоящую в основном из фосфатных зерен размером до 0,1 мм, наряду с которыми присутствуют оолиты, обломки фауны и др. Перечисленные фосфатные образования сцементированы фосфатным, карбонатным, кремнистым материалом. Месторождения этих фосфоритовых руд (кроме джорджинских) характеризуются крутым залеганием продуктивных пластов, мощность которых изменяется от 0,1 до 30 м. Залегают они среди кремнистых пород, доломитов, известняков, песчаников, аргиллитов, сланцев.

Месторождения зернистых фосфоритовых руд распространены в Африкано-Аравийской фосфоритоносной провинции [Соколов А. С., 1974], возраст их верхнемеловой—палеогеновый [Покрышкин В. И., 1970, 1971; Покрышкин В. И., Прокофьев С. С., 1974]. Здесь расположены бассейны: Западно-Сахарский (в Западной Сахаре и Сенегале), Марокканский (в Марокко), Алжиро-Тунисский (в Алжире и Тунисе), Египетский (в АРЕ), Восточно-Средиземноморский (в Иордании, Саудовской Аравии, Сирии, Израиле, Ираке, Турции).

Зернистые фосфориты и фосфоритовые руды представляют собой породу типа песчаника, сложенную на 50—90% фосфатными зернами размером обычно от 0,1 до 5 мм, чаще 0,15—1 мм, среди которых присутствуют оолиты и псевдооолиты, обломки фосфатизированных зубов и костей рыб, рептилий, раковин моллюсков и фораминифер. Они могут быть плотными либо рыхлыми. Цемент-

ом количестве. Взаимо-
эментирующей массой

ых руд в основном ха-
тивных пластов мощно-
оторых свыше 20—25%.
форитоносным горизон-
оторых они залегают
лин, реже доломитов,

микрозернистых и зерни-
ительно больший удель-
осфоритов (табл. 12).
за высоких содержаниях
ания карбонатов и фос-
перерабатываются пре-
бом на элементарный
итовых руд в крупных
калестых горах, причем
е для извлечения урана,
влетворяют промышлен-
форитовых руд произво-
ой Африки и Ближнего
отся в большинстве слу-
Рыхлость руд позволяет

Таблица 12

итовых руд
есейнах мира
974]

Запасы руд, млн. т	Добыча руды, млн. т
2 100	7,556*
1 250	—
2 229	1,0**
7 735	4,297
10 200	2,0
40 000	19,3
19 532	4,5
1 420	0,5
3 200	2,9

обогащать их на первой стадии механическими методами, а на второй — методом кальцинирующего обжига доводить содержание P_2O_5 в фосфоритных концентратах до уровня мировых стандартов.

ФОСФОРИТОНОСНЫЕ БАССЕЙНЫ И МЕСТОРОЖДЕНИЯ МИКРОЗЕРНИСТЫХ ФОСФОРИТОВЫХ РУД И ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИХ РАЗМЕЩЕНИЯ

Месторождения микрозернистых фосфоритовых руд широко распространены на земном шаре. Они известны в осадочных комплексах, развитых в Каратауском, Алтае-Саянском, Хубсугульском, Джорджине, Скалистых гор и в других бассейнах.

Миогеосинклинальные бассейны

Каратауский бассейн

Каратауский фосфоритоносный бассейн расположен в Джамбулской области, в пределах хр. Малый Каратау, в полосе длиной около 150 км и шириной 25—30 км, протягивающейся с северо-запада на юго-восток. В пределах бассейна известно более 45 месторождений фосфоритовых руд, три из которых (Чулактау, Джанатас и Аксай) разрабатываются. Разведанные запасы фосфоритовых руд бассейна на 1.1.1975 г. составляли около 2,1 млрд. т руды, или 504 млн. т P_2O_5 , из которых 90% приходится на пять месторождений бассейна: Чулактау, Аксай, Кокджон, Коксу и Джанатас. Общие запасы бассейна вместе с прогнозными оцениваются в 2 млрд. т P_2O_5 .

Бассейн сложен палеозойским осадочным комплексом, располагающимся на мощной серии докембрийских образований, в основании которых залегают нижне- и среднепротерозойские породы кокджотской серии общей мощностью до 4500 м [Табьлдиев К. Т. и др., 1970]. Выше залегают отложения каройской серии (рифей — нижний венд), которая делится на три свиты (снизу вверх): а) большекаройскую (2000—2200 м) — в основном граувакковые песчаники, конгломераты, глинистые сланцы; б) коксуйскую (400—600 м) — глинистые и глинисто-хлоритовые сланцы, сменяющиеся сверху полимиктовыми и кварцевыми песчаниками; в) малокаройскую (450—1500), нижняя часть — зеленовато-серые глинистые и черные кремнистые сланцы, переслаивающиеся с доломитами и известняками; средняя часть — полимиктовые песчаники, глинисто-кремнистые сланцы с прослоями туфов; верхняя часть — тонкослонистые зеленые и вишнево-красные кремнистые сланцы, тонкозернистые кварцевые и полимиктовые песчаники, окремненные туфы с прослоями доломитизированных известняков. Терригенные породы часто сильно карбонатны. В отдельных местах наблюдается обогащение фосфором (до 2,6—3,6% P_2O_5) пород верхнего горизонта свиты и наличие тонких про-

на в верхах каройской
ей-вендского возраста
строматолитовыми, мик-
с подчиненными про-
енно подстилает фосфо-
которые залегают на
актаускую и шабактин-
оритоносная формация,
ы (нижний кембрий)
тся на несколько более
у вверх): нижних доло-
езо-марганцевый (или

еняется, вплоть до пол-
размыва). В некоторых
достигает 20—25 м (ме-
естах развития конгло-
резов мощность нижних
ой плотную, массивную
5 мм) или мелкозерни-
рнистую; сложены доло-
ом субстрате доломитов
варца, полевых шпатов,
. Фосфатные зерна кор-
остью замещены ими.
содержат 20—30%, а
осфоритов песчаной раз-
екчиевые и конглобрек-
мационные). Их состав
от следов до 10—14; не-
повышенном количестве
, 1—0,3), иногда бор.

и) кремневого горизонта
на максимальных мощно-
рес-Беркуты). На место-
ми отсутствует (срезан
осредственно на нижних
ках и сланцах. Кремни
сварц; в светлых разно-
но пигментирован тонко-
На фоне общей массы
сложенные темно-бурым
ники низкотемпературно-
а иногда и внутри фос-
единичные зерна карбо-
людаются реликты фос-
емнистым материалом с
та. В кремнях обнару-
ки фауны. В составе

кремней 75—95% приходится на SiO_2 , кроме того, они содержат от следов до 9—10% P_2O_5 , 10—15% окиси кальция, 3—5% окиси магния, 1—3% полуторных окислов.

Наиболее полные разрезы продуктивного горизонта (до 45—65 м) прослеживаются в северо-западной части бассейна. Здесь он отчетливо подразделяется на три пачки: нижнюю — фосфоритную, содержащую прослой серицито-кремнистых сланцев, среднюю — фосфатно-сланцевую (преимущественно серицито-кремнистые фосфатные сланцы), верхнюю — фосфоритную, сложенную в основном обломочными фосфатными породами. На юго-востоке нижняя и средняя пачки, как правило, выпадают из разреза, а в кровле фосфоритовых руд развивается не выдержанный по простиранию железо-марганцевый горизонт, представленный карбонатными и окисленными железо-марганцевыми породами.

В основании железо-марганцевого горизонта обычно присутствует маломощный прослой фосфоритного конгломерата [Тушина А. М. и др., 1969]. Максимальная мощность железо-марганцевых пород (до 5 м) наблюдается в тех разрезах, где продуктивный горизонт представлен только верхней фосфатной пачкой (Тьесай, Беркуты Северный). В районе месторождения Тьесай железо-марганцевые породы иногда залегают на размытой поверхности кремневого горизонта или даже на нижних доломитах. Для продуктивного горизонта характерна изменчивость литологического состава. Максимумы продуктивности его устанавливаются в районах месторождений Джанатас, Аксай и Чулактау.

Фосфориты и фосфоритовые руды продуктивного горизонта по минералого-петрографическим признакам подразделяются на три группы [Тушина А. М. и др., 1969; Смирнов А. И., 1972]: неяснозернистые (крипстокристаллические, сгустковые), оолитовые и микрозернистые, дающие постепенные переходы между собой. По составу цемента различают монофосфатные, кремнисто-фосфатные, кремнистые и карбонатные фосфоритовые руды. Кроме того, здесь распространены фосфоритные конгломераты и гравелиты.

Неяснозернистые фосфоритовые руды почти целиком сложены микрокристаллическим фосфатом, образующим неясно выраженные сгустки или зерна. Это плотные массивные породы темного цвета с небольшим числом посторонних включений (менее 5%). В фосфатной массе рассеяны мелкие скопления халцедона, пирита или гидроокислов железа.

Микрозернистые разновидности составляют преобладающую часть фосфоритовых руд Каратау. Сложены они соприкасающимися между собой округлыми фосфатными микрозернами размером 0,1—0,25 мм. В том или ином количестве присутствуют фосфатные оолиты той же размерности. Фосфатное вещество микрозерен однородное, светло-коричневого или светло-желтого цвета, слабо раскристаллизованное. В нем содержатся включения халцедона (5—10%, иногда до 50%), карбонатов (2—3%, иногда до 30—50%) и гидроокислов железа. Преобладают разновидности с фосфатным или кремнисто-фосфатным цементом (более 75%);

фосфориты с кремнистым и карбонатным цементом составляют соответственно 7—8 и 15—16%.

Оолитовые и оолитово-зернистые фосфоритовые руды слагаются фосфатными оолитами и некоторым количеством фосфатных зерен (до 20—30%). Оолиты имеют ядро, окруженное оболочкой концентрически слоистого фосфата. Ядра оолитов состоят из слабокристаллизованного фосфата с тонкодисперсными включениями халцедона, серицита, пирита, карбонатов и гидроокислов железа. Иногда ядрами служат зерна халцедона, кварца, карбоната.

Среди фосфатных концентров оболочки иногда присутствуют концентры, сложенные халцедоном, реже карбонатами. В карбонатных фосфоритах наблюдается коррозия поверхности оолитов, при этом отдельные концентры оказываются барьером и препятствуют проникновению замещения вглубь.

Фосфоритные конгломераты и гравелиты по составу гальки могут быть полимиктовыми (гальки фосфоритов, кварца, кремней, доломитов, сланцев) и фосфатными — с единичными гальками доломитов, фосфатно-кремнистых сланцев, кремней. Цемент в них фосфатный, железисто-фосфатный, карбонатный. Кроме конгломератов встречаются кварц-фосфоритные песчаники, в которых обломочные зерна кварца с примесью халцедона и полевых шпатов, листочков слюды, фосфатных зерен и оолитов цементируются фосфатным цементом, загрязненными включениями халцедона и гидроокислов железа (Джанатас). Содержание P_2O_5 в них 7—10%, редко до 19% [Гиммельфарб Б. М., Тушина А. М., 1969].

Основными минеральными компонентами фосфоритов Каратау являются фосфаты, доломит, кварц, халцедон, полевые шпаты, гидрослюды, силикаты магния и пирит; в единичных случаях отмечены глауконит, гипс, целестин, барит, флюорит. Основная масса фосфатного вещества представлена фторкарбонатапатитом, в котором часть фосфора замещена на углерод. Химический состав фосфоритовых руд в среднем следующий (в %): P_2O_5 18—30; SiO_2 8—18; Al_2O_3 0,8—1,7; Fe_2O_3 0,1—1; TiO_2 0,1—0,11; CaO 28,5—44; MgO 0,9—42,8; K_2O 0,2—0,7; CO_2 4,9—9,3; SO_3 0,3—1,3; F 1,5—2,6; Cl 0,6—0,8; $C_{орг}$ 0,1—0,2.

Из элементов-примесей содержатся стронций, редкоземельные элементы, ванадий, марганец и свинец.

Наибольшая мощность чулактауской свиты отмечается на северо-западе бассейна, в районе месторождений Акджар, Коксу и Джанатас (до 70—80 м), где она несогласно залегает на верхних горизонтах джанатасской свиты. По мере движения на юго-восток чулактауская свита располагается на все более и более древних горизонтах джанатасской. В центральной и юго-восточной частях структуры Малого Каратау свита местами полностью выпадает из разреза.

Шабактинская свита (средний кембрий—ордовик) связана с чулактауской постепенными переходами (местами залегает с не-

большим размывом). Нижняя часть желваками и линзовидными прослоями доломитов мощностью 8—10 м, вероятно, часто содержит первые прослоения [Гиммельфарб Б. М., Тушина А. М.] фосфоритноносного бассейна, в основании выше железо-марганцевого горизонтный горизонт «бурых известняков» представлен буровато-серыми, слабокарбонатными и доломитистыми известняками с прослоями бурых и черных кремней. Мощность этого горизонта покрывающей свиты железа. Для этого горизонта характерна мощность (1—5% P_2O_5) и кремнистость (20—30% и выше). На месторождениях «Коксу» имеют мощность 3—5 м в эваквативном горизонте. Территория содержит 2%, в отдельных прослоях до 4% держат от следов до 7—8% P_2O_5 31% (чаще 10—15%), полутонныния 10—20%.

Средняя часть шабактинской свиты в отдельных местах (Аксайский блок) (ордовик) повсеместно представлена слоями доломитизированных известняков. Мощность свиты превышает 2000 м.

Фосфоритоносные породы простоянии от Улутуа на северо-запад Шане и дальше на восток. Чулактау кросзернистые фосфориты, на юго-восточной, в которой развиты желваков Каратау и Улутуа с чулактауской свиты ванадиеносные сланцы [Анкинов] присутствуют желваки фосфоритные в районе Джебаглинских гор, Тымтоо и в других районах [Анкинский Г. И., 1966].

Каратауский фосфоритоносный геосинклинальной зоне Улутуа-Тымтоо системы. Некоторые исследователи считают, что образование каратауской платформы на платформенных условиях, но дано развитие этой области как многоэтапное [Анкинский Г. И., 1961; Бушинский Г. И., 1966; Борщевский Г. И., 1966].

В тектоническом отношении каратауская свита связана с собой антиклинорий—конседиментацией, развивающейся в северо-западном направлении в результате разрывных нарушений, вследствие

цементом составляют

оритовые руды слагают-
количеством фосфатных
о, окруженное оболочкой
оолитов состоят из сла-
кодисперсными включе-
бонатов и гидроокислов
алцедона, кварца, карбо-

чки иногда присутству-
еже карбонатами. В кар-
розии поверхности ооли-
ваются барьером и пре-
убь.

иты по составу гальки
сфторитов, кварца, крем-
ни — с единичными галь-
ланцев, кремней. Цемент
й, карбонатный. Кроме
ритные песчаники, в ко-
сью халцедона и полевых
ерен и оолитов цементи-
ными включениями хал-
гас). Содержание P_2O_5 в
рб Б. М., Тушина А. М.,

ами фосфоритов Каратау
алцедон, полевые шпаты,
в единичных случаях от-
т, флюорит. Основная
а фторкарбонатапатитом,
углерод. Химический со-
щий (в %): P_2O_5 18—30;
—1; TiO_2 0,1—0,11; CaO
 CO_2 4,9—9,3; SO_3 0,3—1,3;

стронций, редкоземельные

свиты отмечается на се-
ждений Акджар, Коксу и
асно залегает на верхних
ре движения на юго-вос-
а все более и более древ-
пной и юго-восточной ча-
местами полностью выпа-

рий—ордовик) связана с
(местами залегает с не-

большим размывом). Нижняя часть ее сложена доломитами с
желваками и линзовидными прожилками кремней. Горизонт до-
ломитов мощностью 8—10 м, перекрывающий чулактаускую сви-
ту, часто содержит первые проценты, редко до 12—13% P_2O_5
[Гиммельфарб Б. М., Тушина А. М., 1966]. На северо-западе фос-
форитоносного бассейна, в основании шабактинской свиты, иногда
выше железо-марганцевого горизонта, выделяется так называе-
мый горизонт «бурых известняков» мощностью до 10—20 м. Он
представлен буровато-серыми, слабо ожелезненными доломитами
и доломитистыми известняками с тонкими линзообразными про-
слоями бурых и черных кремней. На дневной поверхности доло-
миты этого горизонта покрываются бурой корочкой гидроокислов
железа. Для этого горизонта характерны повышенная фосфат-
ность (1—5% P_2O_5) и кремнистость (нерастворимый остаток до
20—30% и выше). На месторождении Кокджон «бурые известня-
ки» имеют мощность 3—5 м и залегают непосредственно на про-
дуктивном горизонте. Терригенный материал составляет в них 1—
2%, в отдельных прослоях до 40—50%. «Бурые известняки» со-
держат от следов до 7—8% P_2O_5 , нерастворимого остатка 4—
31% (чаще 10—15%), полуторных окислов 1,5—7,4%, окиси маг-
ния 10—20%.

Средняя часть шабактинской свиты сложена доломитами, в от-
дельных местах (Аксайский блок) — известняками. Верхняя часть
(ордовик) повсеместно представлена известняками, иногда с про-
слоями доломитизированных известняков и доломитов. Общая
мощность свиты превышает 2000 м.

Фосфоритоносные породы прослеживаются на большом рас-
стоянии от Улутау на северо-западе до границы с Китаем в Тянь-
Шане и дальше на восток. Чулактауская свита, содержащая ми-
крозернистые фосфориты, на юго-востоке замещается бешташ-
ской, в которой развиты желваковые фосфориты. В Большом Ка-
ратау и Улутау с чулактауской свитой можно параллелизовать
ванадиеносные сланцы [Анкинович С. Г., 1961], среди которых
присутствуют желваки фосфоритов. Аналогичные породы извест-
ны в районе Джебаглинских гор, Кампинтага, Сарыджаса, Дже-
тымтоо и в других районах [Анкинович С. Г., 1961; Бушин-
ский Г. И., 1966].

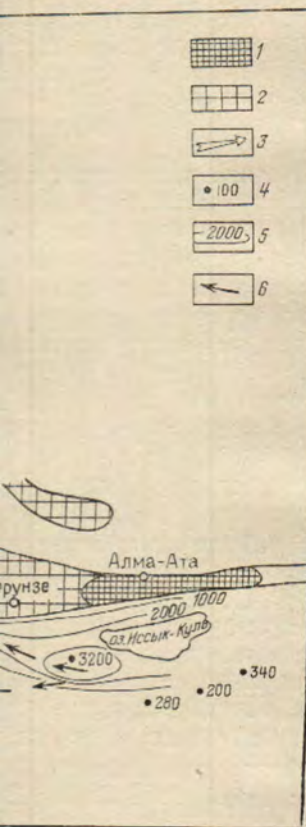
Каратауский фосфоритоносный бассейн формировался в мно-
геосинклинальной зоне Улутау-Тяньшанской геосинклинальной
системы. Некоторые исследователи [Особенности..., 1973] счи-
тают, что образование каратауских фосфоритов происходило в
платформенных условиях, но данные, приводимые сторонниками
развития этой области как многогеосинклинали [Анкинович С. Г.,
1961; Бушинский Г. И., 1966; Борукаев Л. А., 1970], более убедит-
тельны.

В тектоническом отношении хр. Малый Каратау представляет
собой антиклинорий—конседиментационную структуру, прости-
рающуюся в северо-западном направлении. Здесь широко разви-
ты разрывные нарушения, вследствие которых фосфоритные плас-

ждения Учбас, Акджар, Бе и др.).

Малый Каратау, начавшемся в мелководном бассейне. По мнению Тушиной [1973], в конгломератах каройской и кокшетаульской морей, и затем, при погружении, на поверхности отложились фосфориты. Фосфатонакопление со временем осадконакопления хемогенно-биогенно.

Влиял собой проливнообразующий (рис. 1). В его северной части, чем в юго-восточ-



аззахстана в период эпохи фосфатонакопления (по Габдылиеву).

1 — фосфориты; 2 — известняки; 3 — главные направления сноса осадочных пород; 4 — основные направления сноса осадочных пород; 5 — изопакиты; 6 — основные направления сноса осадочных пород.

ной, хотя в основном преобладали стабильные тектонические условия, характеризовавшиеся небольшими колебательными движениями. В юго-западной и северо-восточной частях бассейна, где преобладали мелководные и неустойчивые условия осадконакопления, наблюдаются пестрый литологический состав фосфоритоносных отложений и размыты. Ближе к берегу формировались фосфоритные конгломераты и гравелиты, а также пизолитовые и частично оолитовые фосфориты. В мелководных участках бассейна происходило образование фосфоритов (P_2O_5 10—1%) псаммито-оолитовой структуры и кремнистых пород (спонголитов). Во впадинах отлагались фтаниты, а на их склонах — оолитовые фосфориты (P_2O_5 10—20% и более).

Быстрая смена пород в фосфатной толще указывает на неустойчивую фаціальную обстановку. Грубые породы тяготеют к окраинным частям бассейна, мелкозернистые — к его центральной части. Крупнозернистый материал сцементирован сингенетичным карбонатным, мелкозернистый — фосфатным, а алевролитовый — кремнистым материалом.

Климат эпохи фосфатонакопления был аридным [Шатский Н. С., 1955; Страхов Н. М., 1960; Смирнов А. И., 1972].

Хубсугульский бассейн

Центральная и южная части бассейна располагаются на севере Монголии в пределах простого по строению прогиба, вытянутого с юга на север на расстояние около 300 км при ширине 120 км. Северная часть бассейна, осложненная несколькими поднятиями, образующими более мелкие структуры, в частности Боксон-Сархойский прогиб, заходит на территорию СССР. Бассейн выполнен верхнерифейско-кембрийскими отложениями. В его границах известно около 10 месторождений и более 20 проявлений фосфоритов и фосфоритовых руд. Запасы фосфоритовых руд только по одному, самому крупному в бассейне, Хубсугульскому месторождению оцениваются более 400 млн. т при содержании P_2O_5 около 20,7%, а прогнозные близки к 1 млрд. т [Ильин А. В., 1973]. Прогнозные запасы бассейна около 3,3 млрд. т фосфоритовых руд.

Верхнерифейско-нижнекембрийский комплекс отложений бассейна разделяется на две литологически различные серии: нижнюю — дархатскую, существенно вулканогенно-терригенную и верхнюю — хубсугульскую, существенно карбонатную [Ильин А. В., 1973]. Последняя подразделяется на пять свит. В осевой зоне бассейна развиты преимущественно верхние, а по бортам — нижние свиты хубсугульской серии.

Фосфоритоносны отложения доднурской свиты, слагающие основание хубсугульской серии, которая с размывом ложится на дархатскую серию, причем амплитуда размыва уменьшается от бортов к центру бассейна. Основная фосфоритоносная формация в бассейне, выделяемая в объеме доднурской свиты, слагается из фосфоритовых руд, содержащих до 20% P_2O_5 .

юге — до 800 м), состоит из доломитов, известняков, доломитовых конглобрекчий, кремней, алевролитов и песчаников с горизонтами фосфоритов. Перекрывается она карбонатной формацией, содержащей известняки харманнской (до 1500 м) и босхатской (до 1000 м) свит. Выше располагаются песчаники, алевролиты и известняки хоридулинской (до 300 м), алевролиты и конгломераты яматуингольской (до 300 м) свит. В основании хоридулинской свиты выделяется горизонт песчано-гравелистых фосфоритов, образующих ряд мелких проявлений. Мощность хубсугульской серии в центральной части бассейна 4000 м, а в восточной 2500 м.

Возраст фосфоритоносной доднурской свиты А. В. Ильин [1973] определяет как верхнерифейский (преимущественно по строматолитам), а хоридулинской и яматуингольской — как кембрийский (по археоциатам и трилобитам). Ранее А. В. Ильин доднурскую свиту относил к венду, а Н. А. Донов [1967 г.] — к кембрию. Б. Г. Гуревич стратиграфический ее аналог — нижебоксонскую подсвиту Ухагольского месторождения — считал вендской. По данным Р. И. Волкова и Н. С. Зайцева [1972], главная пачка Ухагольского месторождения и бокситоносный горизонт Боксон-Сархойского прогиба стратиграфически очень близки, а абсолютный возраст бокситоносного горизонта, установленный свинцовым методом, равен 600 млн. лет. В 1974 г. М. Н. Коробовым на Хубсугульском месторождении (р. Хэсэн) найдены остатки трилобитов нижнего кембрия (алданский? ярус), в 500—600 м выше по разрезу от фосфоритов. В свете этих находок нижекембрийский возраст фосфоритов может считаться столь же вероятным, сколь вероятным считался ранее по находкам строматолитов верхнерифейский возраст.

В осевой зоне бассейна хубсугульская серия имеет почти исключительно карбонатный состав при господствующей роли известняков, среди которых доломиты встречаются лишь в виде отдельных пачек. У бортов бассейна в карбонатных породах увеличивается примесь терригенного материала, появляются прослои и пачки терригенных и кремнистых пород. При этом изменяется состав карбонатных пород — среди них начинают преобладать доломиты. Существенно карбонатные разрезы хубсугульской серии в центре бассейна к северу замещаются карбонатно-терригенными, а при движении на восток — вулканогенно-терригенными и существенно вулканогенными.

Фосфоритовые руды приурочены к хубсугульской серии, причем на всех месторождениях и в большинстве фосфатопоявлений они размещаются вблизи основания доднурской свиты. Убогие фосфориты и фосфатсодержащие породы встречаются также и в других свитах хубсугульской серии, преимущественно в хоридулинской и яматуингольской, завершающих разрез хубсугульской серии — по А. В. Ильину [1973], это фосфоритоносные отложения верхнего стратиграфического уровня. На Хубсугульском месторождении, протягивающемся примерно на 30 км вдоль восточного

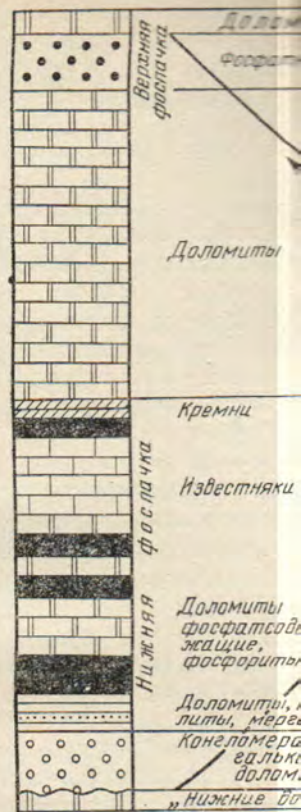


Рис. 2. Схема строения

мощностью около 200 м. От верхних характерными «дырчатыми породами», фоссерия отдельных местами оолитовых доломитов. Разрез фоссерии (снизу вверх):

1. Конгломераты, галька которых подстилающих карбонатных пород, известняков и доломитов.
2. Подфосфатная пачка, сложенная глинистыми доломитами, аргиллистыми породами, карбонатными пачки отличаются повышенными содержанием $2\% \text{ MnO}$, железа (до $8-10\% \text{ Fe}_2\text{O}_3$), P_2O_5 .
3. Нижняя, или основная, фосфоритовая пачка, богатая (в среднем $22\% \text{ P}_2\text{O}_5$) и менее несколько менее мощными неустойчивыми доломитами.

ее находится главный фосфоритовый горизонт, богатый (в среднем $22\% \text{ P}_2\text{O}_5$) и менее несколько менее мощными неустойчивыми доломитами.

половине пачки черных тонкоплитчатых битуминозных известняков, венчающихся самым верхним фосфоритовым пластом, на котором в свою очередь лежит горизонт черных кремней.

80—100 „

80—100 „

4. Пачка бесфосфатных доломитов
5. Верхняя фосфоритоносная пачка, состоящая из фосфатсодержащих песчаников и тревелитов или доломитов, содержащих редкие рассеянные зерна фосфата. Фосфатные, кремнистые и карбонатные компоненты этих пород терригенные.

Нижняя половина разреза фоссерии (1—3) составляет типичную трансгрессивную последовательность. Максимуму трансгрессии отвечают известняки и кремни (известняки в Хубсугульском прогибе всегда тяготеют к более удаленным от берега частям бассейна, а доломиты — к прибрежным). Вышележащие слои составляют регрессивную часть фоссерии, так что максимуму регрессии отвечает верхняя фосфоритоносная пачка. Она, очевидно, формировалась в то время, когда нижняя уже размывалась в прибрежных субаэральных или аквальных условиях.

Таким образом, фосфориты заключены в пределах полного цикла осадконакопления, включающего трансгрессивную и регрессивную фазы. До этого цикла существовала и после него восстановилась монотонная устойчивая карбонатная седиментация. Трансгрессия, обусловившая накопление фосфоритов, была частной, меньшей по размеру сравнительно с предшествующей, фиксированной в основании хубсугульской серии. Участки суши, затопленные ранее хубсугульским морем, были сложены различными породами, как об этом можно судить по составу галек конгломератов в основании хубсугульской серии. Более поздняя, «фосфатная» трансгрессия охватила меньшие площади, располагаясь внутри ареала предшествующей трансгрессии. Участки суши, на которые наступало море, отвечающее времени формирования фоссерии, состояли только из карбонатных пород. Влияние суши на состав осадков фоссерий весьма слабо ощутимо.

При прослеживании фоссерии по простиранию вдоль восточного борта бассейна видно, что общий план ее строения сохраняется, на всех месторождениях выделяются нижняя и верхняя фосфатки и разделяющие их доломиты (рис. 3). Что же касается анатомии самих пачек, насыщенности их фосфатом, характера фосфоритов, то все эти параметры изменяются весьма резко. Более того, отдельные пласты фосфоритов основной нижней пачки не коррелируются между соседними выходами или канавами, отстоящими друг от друга всего лишь на первые сотни метров.

Один из наиболее консервативных элементов фоссерии нижний, или главный, пласт нижней пачки, лежащий непосредственно на глинистых доломитах подфосфатной пачки. Но и этот пласт испытывает существенные изменения по мощности и продуктивности. Изменяется и состав фосфоритов: карбонатные разновидности фосфоритов, типичные для бассейна и господствующие в пределах основной его площади, в южной периферической части сменяются кремнистыми. В северной части нефосфатные компоненты пред-

Латеральные изменения фоссерии и поведение ее вкосте простирания выявлены на примере детально изученного района северной части Хубсугульского месторождения. Здесь восточное крыло синклинали, которому отвечает в современной структуре Хубсугульский прогиб, осложнено двумя складками — Хэсэньской синклинали и Арасанской антиклинали. Благодаря этим складкам на дневную поверхность выведены четыре полосы выходов фоссерии, или четыре зоны (с востока на запад): Прибрежная, Урундушская, Монгольская, Арасанская.

Прибрежная и Урундушская зоны имеют в общем сходное строение, отвечая приведенной выше обобщенной схеме строения разреза фоссерии (см. рис. 2). Эти зоны приближены, по-видимому, к берегу палеобассейна, поэтому в них, особенно в Прибрежной, широко представлены конгломераты, начинающие разрез фоссерии. Основная нижняя пачка более продуктивна также в самой восточной (Прибрежной) зоне, а верхняя, наоборот, в соседней к западу — Урундушской зоне. В западном направлении вполне отчетливо выражена тенденция к значительному (трех-пятикратному) увеличению мощности горизонта кремней, венчающих нижнюю фосфоритовую пачку.

В следующей к западу Монгольской зоне нижняя фосфоритовая пачка в значительной мере редуцирована. Фосфориты здесь выклиниваются, сохраняясь лишь местами в виде отдельных невыдержанных залежей. Еще и выдержанными становятся черные фосфоритовые пачки. Верхняя

известняков,
и, на котором
80—100 ..
80—100 ..
фосфатсодер-
жащих редкие
и карбонатные

—3) составляет типич-
Максимуму трансгрес-
сия в Хубсугульском
от берега частям бас-
ележащие слои состав-
о максимуму регрессии
Она, очевидно, форми-
змывалась в прибреж-

в пределах полного
трансгрессивную и ре-
вала и после него вос-
онатная седиментация.
осфоритов, была част-
предшествующей, фикс-
серии. Участки суши,
были сложены различны-
о составу галек конгло-
. Более поздняя, «фос-
площади, располагаясь
ссии. Участки суши, на
тени формирования фос-
ород. Влияние суши на
имо.

стиранию вдоль восточ-
ан ее строения сохраня-
нижняя и верхняя фос-
3). Что же касается ана-
сфатом, характера фос-
ся весьма резко. Более
вной нижней пачки не
и или канавами, отстоя-
е сотни метров.

элементов фоссерии ниж-
жащий непосредственно
пачки. Но и этот пласт
ощности и продуктивно-
обонатные разности фос-
твующие в пределах осе-
теской части сменяются
тими компонентами пред-

Латеральные изменения фос-
серии и поведение ее вкрест про-
стирания выявлены на примере
детально изученного района се-
верной части Хубсугульского мес-
торожения. Здесь восточное
крыло синклиория, которому
отвечает в современной структу-
ре Хубсугульский прогиб, ослож-
нено двумя складками — Хэсэн-
ской синклиналью и Арасанской
антиклиналью. Благодаря этим
складкам на дневную поверх-
ность выведены четыре полосы
выходов фоссерии, или четыре
зоны (с востока на запад): При-
брежная, Урундушская, Монго-
линская, Арасанская.

Прибрежная и Урундушская
зоны имеют в общем сходное
строение, отвечая приведенной
выше обобщенной схеме строе-
ния разреза фоссерии (см. рис. 2).
Эти зоны приближены, по-види-
мому, к берегу палеобассейна,
поэтому в них, особенно в При-
брежной, широко представлены
конгломераты, начинающие раз-
рез фоссерии. Основная нижняя
пачка более продуктивна также
в самой восточной (Прибреж-
ной) зоне, а верхняя, наоборот,
в соседней к западу — Урундуш-
ской зоне. В западном направ-
лении вполне отчетливо выраже-
на тенденция к значительному
(трех-пятикратному) увеличению
мощности горизонта кремней,
венчающих нижнюю фосфорито-
носную пачку.

В следующей к западу Мон-
голинской зоне нижняя фосфори-
тоносная пачка в значительной
мере редуцирована. Фосфориты
здесь выклиниваются, сохраня-
ясь лишь местами в виде отдель-
ных невыдержанных залежей. Еще более мощными однородными
и выдержанными становится черные кремни, редуцирующие нижнюю

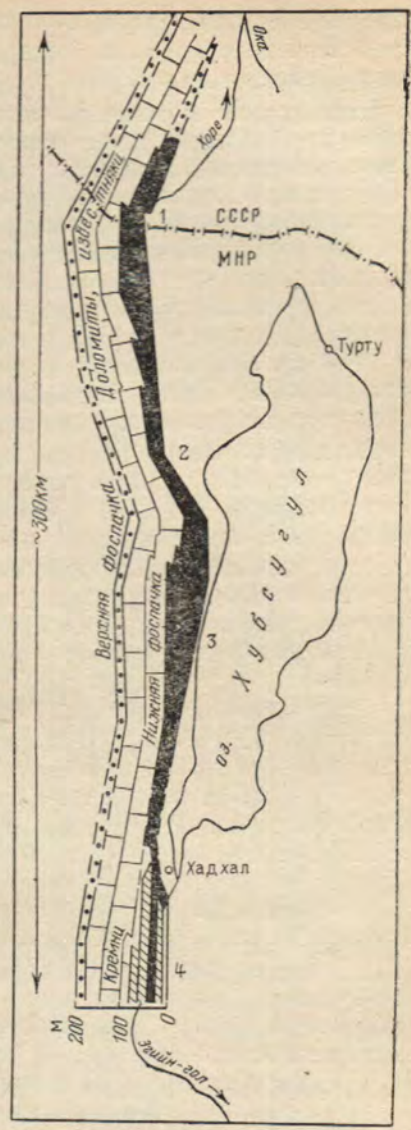


Рис. 3. Литолого-палеогеографическая схема фоссерии в продольном разрезе вдоль восточного борта Хубсугульского бассейна.
Месторождения: 1 — Ухагольское, 2 — Улен-Даба, 3 — Хубсугульское, 4 — Манхай-Ула

Обычно она состоит из залежи буро-красных гли-

аметными изменения в со-
азывающиеся в постепен-
и. Для крайней западной
ние залежей железных и
уровне, отвечающей верх-
как и в соседней Монго-
из красноватых брекчие-
встречаются линзовидные
но велики: протяженность
Состоят они из марганце-
о окисных, железных или
окисных руд.

арганцевых руд, например
йчивым высоким содержа-
жет заметить также, что и
пример Прибрежной, свой-
ганца. Местами среди фос-
тся тонкие невыдержанные
Такого рода соотношения
сех четырех зон выходов

али изменяется весьма рез-
не до 3—4 т в Арасанской
изменения продуктивности
ния MgO в карбонатных по-
ии увеличивается содержа-
фосфоритах (в карбонатных
тенденция), увеличивается
и, наоборот, уменьшается

о профиля появляются два
одство-кремнистых сланцев
ышенных тонкой пиритовой
части профиля фосфориты
(до 3—4% C_{org}).

скую и Арасанскую склад-
оскряк на протяжении око-
ая часть этого профиля тя-
то внешняя, наиболее близ-
фаций несомненно эродиро-
ежного северного участка
рутах районов, ширина эро-
марная латеральная протя-
таком случае будет состав-
ь бассейна, они сменялись

карбонатными (известняковыми) фациями, к востоку, к берегу —
очень узкой полосой терригенных фаций.

Фосфориты и фосфоритовые руды Хубсугульского бассейна, по
А. В. Ильину [1973], представлены двумя типами: хемогенными и
обломочными. Первые подразделяются на афанитовые, сложен-
ные бесструктурными выделениями фосфата в виде полос, про-
слоев или скоплений неправильной формы и разного размера, и
зернистые, или, по принятой в настоящей работе терминологии,
микрозернистые, сложенные структурными выделениями фосфа-
та — микрозерниами. Обломочные фосфориты делятся на песчани-
ковые (кварцевые, полимиктовые, карбонатные) и грубообломоч-
ные (гравелитовые, конгломератовые и брекчиевые). Афанитовые
фосфориты обычно наиболее богаты P_2O_5 (26—30%, иногда до
35—37%) и характеризуются низкими значениями нерастворимо-
го остатка (4—10%), представленного в основном мелкокристал-
лическим кварцем, слагающим внутреннюю часть некоторых фос-
фатных выделений неправильной формы либо осевые части фос-
фатных полосок. Содержание полуторных окислов в афанитовых
фосфоритах никогда не превышает 2—3%, а CO_2 и MgO в сумме
составляют 4—9%, т. е. афанитовые фосфориты по составу кар-
бонатные.

Микрозернистые фосфориты и фосфоритовые руды по составу
цемента разделяются на карбонатные, кремнисто-карбонатные и
кремнистые. Карбонатные разновидности содержат от 16—17 до
22—25% P_2O_5 при средних значениях 21—22% и очень мало не-
растворимого остатка (порядка 1%). Обломочные фосфориты по
содержанию различных компонентов характеризуются резкими
изменениями.

Фосфатное вещество фосфоритов бассейна по составу опреде-
ляется как фторapatит с небольшим отклонением в сторону фтор-
карбонатапатита; оно содержит 0,4—1,13% CO_2 . Из малых эле-
ментов повышенные относительно кларка содержания отмечаются
для молибдена. Содержания никеля, мышьяка и стронция очень
близки к кларковым. Наиболее высокие концентрации молибде-
на, ванадия, цинка и других рассеянных элементов наблюдаются
в фосфоритах западного фланга Хубсугульского месторождения,
где в фосфоритоносном комплексе появляются горизонты черных
сланцев, обогащенные органическим веществом.

В хубсугульских фосфоритах (по данным анализа около
250 проб) содержания урана в среднем 0,0004%, т. е. в аномаль-
но низких концентрациях, ниже чем в других бассейнах. При рас-
смотрении всей гаммы пород, составляющих фоссерию, выявля-
ется прямая зависимость между содержаниями фосфора и урана.
Если же ограничить исследование рамками 15—35% P_2O_5 , т. е.
собственно фосфоритами, то прямая зависимость полностью те-
ряется. Установлена также зависимость между содержанием ура-
на и степенью карбонатности фосфоритов (для хубсугульских
фосфоритов весьма характерен процесс раннего диагенетического
замещения фосфата доломитом, проявляющийся в резком умень-

шении содержания урана при повышении до 15% содержания CO_2 , независимо от содержания фосфора).

Содержание редких земель в хубсугульских фосфоритах также аномально низко сравнительно с другими бассейнами. При этом, как и для урана, установлено, что количество редких земель заметно увеличивается при переходе от пезернистых (микрозернистых) к зернистым (пеллетовым) фосфоритам [Ратникова Г. И., 1976 г.].

Большая часть Хубсугульского бассейна располагалась в пределах Тувино-Монгольского массива, который к венду — раннему кембрию обладал сиалическим фундаментом (континентальной корой), состоящим из протерозойских, а также, возможно, из архейских осадочных и метаморфических толщ и докембрийских гранитоидов. Эти сиалические образования либо слагали участки суши (Саугилен, Хамардабан, Протеросаян), либо служили ложем обширного шельфового моря, где накапливались монотонные карбонатные осадки (Западное Прихубсугулье).

В прибрежных частях Хубсугульского бассейна формировались доломиты, а в более удаленных от берега зонах — известняки. Характерно, что карбонатакопление господствовало в пределах Тувино-Монгольского массива и на протяжении всего протерозоя.

К шельфовому бассейну, или Северо-Монгольскому заливу Центрально-Азиатского палеоокеана, и приурочены хубсугульские фосфориты. Существовали две полосы фосфатных фаций — восточная и западная. Местоположение восточной полосы контролировалось береговой линией, которая оконтуривала Хамардабанский массив суши, сложенный древнейшими образованиями. Близоность берега очень слабо выражена в осадках, что, впрочем, характерно и для других фосфоритоносных бассейнов.

Западная полоса фосфатных фаций контролировалась, очевидно, относительным поднятием, занимавшим теперешнюю высокогорную область Восточной Тувы и Северо-Западной Монголии (водораздельная территория Селенги и Енисея). Это поднятие (Бусингольское) было, по-видимому, сплошь покрыто мелководным морем, так как и к востоку от него — в Дархатской котловине Монголии [Ильин А. В., Журавлева И. Т., 1968], и к западу — в Восточной Туве развиты выдержанные известняковые толщи, содержащие очень близкие сообщества археоциат и трилобитов. Местами, в пределах этого поднятия, вероятно в отдельных лагунах, накапливались красноцветы, например непосредственно у границы СССР и МНР (рис. 4).

Располагавшийся на шельфе континента и свободно сообщавшийся с океаном Хубсугульский прогиб находился в поясе низких широт. А. В. Ильин [1973] обращает внимание на совпадение во времени двух процессов — фосфатонакопления на шельфе континентов и формирования симатической коры в соседнем океаническом бассейне. Щелочные базальты с высоким содержанием фосфора встречаются среди пород, составляющих ложе современных

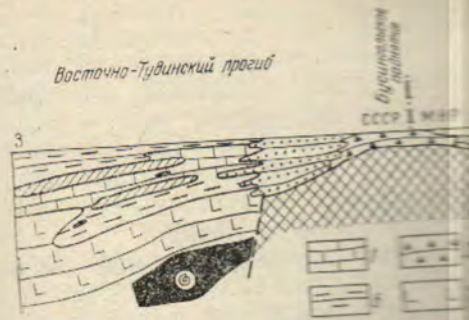


Рис. 4. Фациальный профиль восточной части Восточной Тувы и Монголии. 1 — известняки; 2 — красноцветы; 3 — терригенные отложения; 4 — турбидиты; 5 — эффузивы основного состава; 6 — гранитоиды; 7 — докембрийский фундамент; 8 — известняки.

океанов [Allegre C. J., Bottings F. анализ состава базальтов, выходящих из кембрийского океана в Туве и Монголии]. редко можно встретить щелочные базальты с большой разности.

Северо-Австралийский бассейн

Характеристика Северо-Австралийского бассейна составлена в основном по данным австралийских геологов: Ф. Кайзера и Р. Т. Рассела и др. [Keyser F., Russell R. T., Trueman N. A., 1972]. с учетом результатов работ других геологов о запасах рудных ресурсов геологии и геофизики.

Северо-Австралийский фосфоритный бассейн в литературе под названием Джорджия находится в западной части Квинсленда и восточной части штата Новый Южный Уэльс на площади 270 тыс. км². Бассейн сложен осадками кембрийского возраста, мощность которых увеличивается с востока, запада, юго-запада и северо-запада. В юго-восточной части бассейна встречаются кристаллические породы, в том числе комплекс пород бассейна переосаженных.

Докембрийский фундамент бассейна сложен метаморфизованными и метасланцевыми породами: мигматическими сланцами, известняками и кварцитами. В юго-восточной части бассейна

енни до 15% содержания
ора).

угульских фосфоритах также
этими бассейнами. При этом,
количество редких земель за-
от незернистых (микрозерни-
фосфоритам [Ратникова Г. И.,

бассейна располагалась в пре-
который к венду — раннему
даментом (континентальной
х, а также, возможно, из ар-
ских толщ и докембрийских
ования либо слагали участки
геросаян), либо служили ло-
де накапливались монотонные
убсугулье).

ьского бассейна формирова-
х от берега зонах — известня-
пление господствовало в пре-
и на протяжении всего про-

Северо-Монгольскому заливу
а, и приурочены хубсугуль-
е полосы фосфатных фаций —
ние восточной полосы контро-
ая оконтуривала Хамардабан-
нейшими образованиями. Бли-
а в осадках, что, впрочем, ха-
сных бассейнов.

аций контролировалась, оче-
анимавшим теперешнюю высо-
и Северо-Западной Монголии
ги и Енисея). Это поднятие
у, сплошь покрыто мелковод-
от нег — в Дархатской котло-
авлева И. Т., 1968], и к запа-
держанные известняковые тол-
бщества археоциат и трилоби-
дiania, вероятно в отдельных
ты, например непосредственно

онтинента и свободно сообщав-
огиб находился в поясе низких
дет внимание на совпадении во
онакопления на шельфе конти-
кой коры в соседнем океаниче-
с высоким содержанием фос-
ставляющих ложе современных

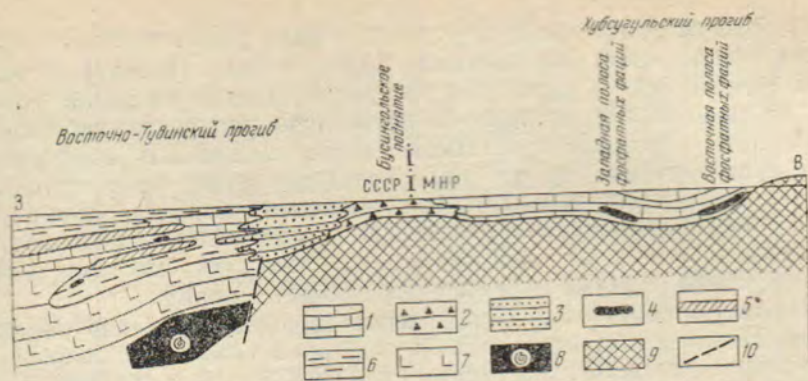


Рис. 4. Фациальный профиль позднекембрийских — раннекембрийских отложений Восточной Тувы и Западного Прихубсугулья.

1 — известняки; 2 — краспощевты; 3 — терригенные отложения; 4 — фосфориты; 5 — кремни;
6 — турбидиты; 7 — эффузивы основного состава; 8 — гипербазиты; 9 — докембрийский фунда-
мент; 10 — тектоническое нарушение

океанов [Allegre C. J., Bottinga F. J., 1974]. Если обратиться к анализу состава базальтов, выстилавших ложе древнего вендско-кембрийского океана в Туве и Монголии, то среди них также нередко можно встретить щелочные с высоким содержанием фосфора разности.

Северо-Австралийский бассейн (бассейн Джорджина)

Характеристика Северо-Австралийского фосфоритоносного бассейна составлена в основном по данным ряда сводных работ австралийских геологов: Ф. Кайзера и П. Д. Кука, П. Ф. Ховарда, Р. Т. Рассела и др. [Keyser F., Cook P. J., 1972; Howard P. F., 1972; Russel R. T., Trueman N. A., 1971], А. Брауна и др. [1970], с учетом результатов работ других исследователей и Бюро минеральных ресурсов геологии и геофизики Австралии.

Северо-Австралийский фосфоритоносный бассейн, известный в литературе под названием Джорджина, располагается в северо-западной части Квинсленда и восточной части Северной территории на площади 270 тыс. км². Бассейн вытянут с северо-запада на юго-восток, сложен осадками кембрийского, ранне- и среднепалеозойского возраста, мощность которых местами превышает 4500 м. С востока, запада, юго-запада и севера его ограничивают докембрийские кристаллические породы. На северо-западе и юго-востоке комплекс пород бассейна перекрывается мезозойскими отложениями.

Докембрийский фундамент бассейна сложен интенсивно дислоцированными и метаморфизованными осадочными и вулканогенно-осадочными породами: мигматитами, гнейсами, кристаллическими сланцами, известняками и др., прорванными гранитами. В юго-восточной части бассейна он несогласно перекрывается

кембрийскими осадочными породами; в ряде районов, в частности на северо-восточной окраине бассейна (Хайланд Плейнс), а также в центральной и западной частях его (месторождение Уонара), на докембрийских породах несогласно располагается толща мощностью в несколько десятков метров измененных выветриванием вулканогенных пород основного (базальты), реже среднего состава (вулканиты Коллес). Для последних характерно присутствие санидина, свидетельствующее о их повышенной щелочности. По направлению к верхней границе в вулканитах местами появляются языки и линзы окремненных песчаных пород.

Основную роль в бассейне играют среднекембрийские образования. Нижнекембрийские отложения, представленные доломитами и доломитистыми известняками в одних местах и грубыми кластическими породами в других, хотя и распространены на значительной территории бассейна, имеют небольшую мощность. Верхнекембрийские осадки развиты в южной и юго-восточной частях бассейна.

В восточной части бассейна, где расположены главные месторождения, Ф. Кайзер и П. Д. Кук [Keyser F., Cook P. J., 1972] выделяют среди кембрийских осадочных образований шесть литологических комплексов: 1) базальный песчано-конгломератовый; 2) доломитовый; 3) кремнисто-алевролитово-известняково-фосфоритовый; 4) алевролитово-сланцево-кремнистый; 5) известняковый; 6) песчано-алевролитовый (рис. 5).

Базальный песчано-конгломератовый комплекс на восточной окраине бассейна образует основание осадочного разреза; характеризуется сильной изменчивостью мощности и литологического состава. Общая мощность комплекса обычно изменяется от нескольких метров до 30 м. В западной части месторождения Дачис, где в основании его располагается пачка верхнепротерозойских «тиллитов» (20 м), перекрытых слонстыми доломитами (10 м), мощность комплекса увеличивается до 200 м. Севернее, где комплекс образован в основном красными песчаниками, песчанистыми алевролитами и полимиктовыми конгломератами, в верхней его части развиты доломитистые песчаники или песчанистые доломиты, связанные постепенными переходами с «известняками» Торнтония¹. Базальные «тиллиты» скорее всего являются отложением склоновых грязевых потоков. Они, возможно, коррелируются с аналогичными образованиями западной части бассейна Джорджина (Филд Ривер Бедс) и бассейна Амадиес (формация Пертатаката). В перекрывающих «тиллиты» породах отмечены галитовые псевдоморфозы. Возраст комплекса определяется от позднего докембрия до начала среднего кембрия.

Доломитовый комплекс. Наиболее распространенный и наиболее мощный (от 100 м и менее вблизи границ бассейна до

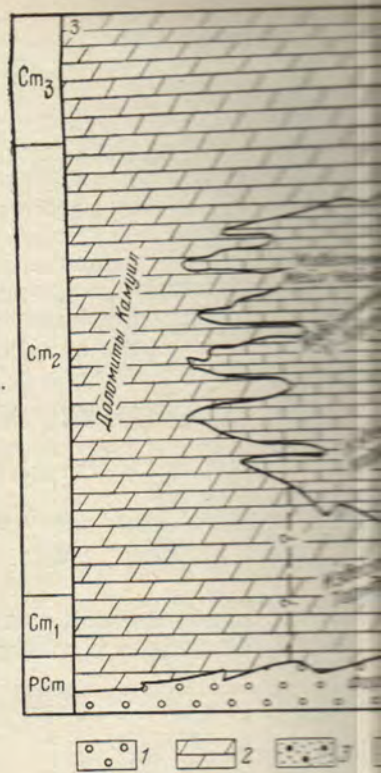


Рис. 5. Взаимоотношение литологических комплексов бассейна Джорджина. По Ф. Кайзеру и П. Д. Куку. 1 — базальный песчано-конгломератовый; 2 — доломитовый; 3 — известняково-фосфоритовый; 4 — алевролитово-сланцево-кремнистый; 5 — известняковый; 6 — песчано-алевролитовый.

700 м и более в центре) в восточной части бассейна. Охватывает ряд местных месторождений (Филд Ривер Бедс, Эйдж Крик, доломиты Камбрия) до позднего кембрия, может коррелироваться с ордовиком. «Известняки» Торнтония литологически сходны и представлены преимущественно мелкокристаллическими доломитами и известняками. Текстура пород от тонкозернистой до массивной, белая, серая, розовая, желтая. «Известняки» Торнтония часто обильно содержат карбонатные включения и иногда содержат карбонатный известняк, переходящий вниз в песчано-конгломератовые породы комплекса, развитые в вулканитах Коллес и содержат углекислые породы.

¹ «Известняки» Торнтония — термин австралийских геологов, обозначающий карбонатную толщу низов среднего кембрия, состоящую из доломитов и известняков. Поэтому слово «известняки» берется в кавычки.

ряде районов, в частности Хайланд Плейнс), а также (месторождение Уонасно располагает толща в измененных выветрива- базальты), реже среднего- базальты характерно присут- повышенной щелочности. вулканитах местами появ- аных пород.

реднекембрийские образо- представленные доломита- их местах и грубыми кла- распространены на значи- большую мощность. Верх- и и юго-восточной частях

сположены главные место- Keyser F., Cook P. J., 1972] образований шесть лито- песчано-конгломератовый; ит-известняково-фосфори- стый; 5) известняковый;

омератовый комп- образует основание ос- ной изменчивостью мощно- мощность комплекса обыч- 30 м. В западной части и его располагается пачка (м), перекрытых слоистыми са увеличивается до 200 м. новном красными песчани- олимиктовыми конгломера- ломитистые песчаники или пенными переходами с «из- аллиты» скорее всего явля- потоков. Они, возможно, ваниями западной части (дс) и бассейна Амадиес ающих «тиллиты» породах. Возраст комплекса опреде- ла среднего кембрия.

наиболее распространенный вблизи границ бассейна до

аглийских геологов, обозначаю- ии, восточном, на доломитово-

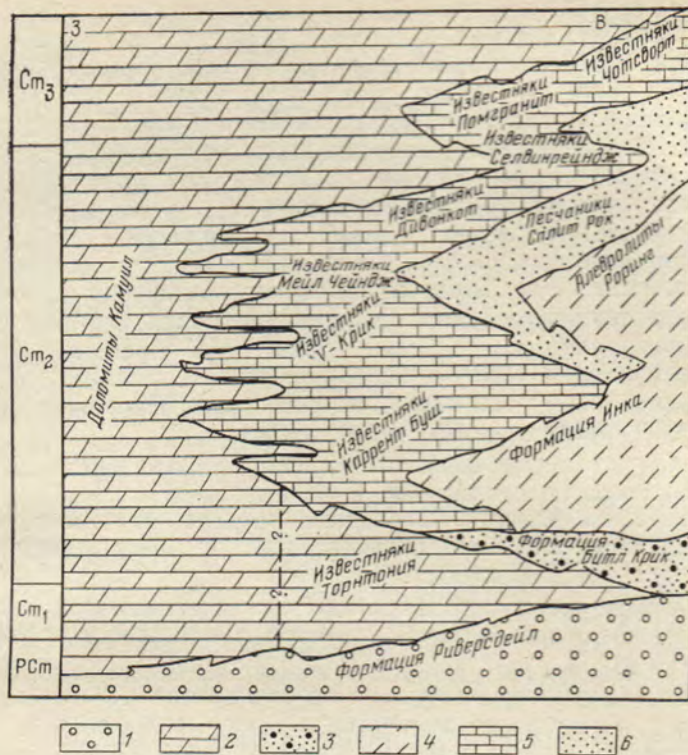


Рис. 5. Взаимоотношение литологических комплексов в восточной части бассейна Джорджина. По Ф. Кейзеру и П. Д. Куку [Keyser F., Cook P. J., 1972]. 1 — базальный песчано-конгломератовый; 2 — доломитовый; 3 — кремнисто-алевролит-известняково-фосфоритовый; 4 — алевролит-сланцево-кремнистый; 5 — известняковый; 6 — песчано-алевролитовый.

700 м и более в центре) в восточной и центральной частях бассейна. Охватывает ряд местных формаций («известняки» Торнтония и Эйдж Крик, доломиты Камуил). Возраст комплекса оценивается от начала среднего кембрия (местами от позднего докембрия) до позднего кембрия, может быть с той или иной частью ордовика. «Известняки» Торнтония и доломиты Камуил литологически сходны и представлены главным образом крупно-, реже микрокристаллическими доломитами с небольшим количеством известняков. Текстура пород от тонкослонистой до массивной; цвет — белый, серый, розовый, желтый, желто-коричневый. В основании «известняки» Торнтония часто обогащены песчаным материалом и иногда содержат карбонатный конгломерат, постепенно переходящий вниз в песчано-конгломератовый комплекс. Местами карбонатные породы комплекса располагаются непосредственно на вулканитах.

В кровле «известняков» Торнтония обычно располагается горизонт кремнистых пород, который в некоторых разрезах перебивается фосфоритоносной формацией Битл Крик. Местами, например к западу от Маунт Айза, он представлен линзами, вклинивающимися в основание формации Битл Крик. В районе Дачис кремнистый горизонт по латерали замещается карбонатными породами «известняков» Торнтония. В шлифах кремнистых пород отмечаются участки, содержащие тонкую пыль карбонатов и псевдоморфозы доломитовых ромбов, что вместе с особенностями залегания (почти всегда в виде щебенистого горизонта на поверхности «известняков» Торнтония) свидетельствует о происхождении его за счет выщелачивания и силификации карбонатов. Волнистые и сферические текстуры кремнистых пород, а также присутствие концентрически слоистых кремнистых желваков, аналогичных тем, какие рассеяны в «известняках» Торнтония, подтверждают правильность этого предположения.

К западу, в центральной части бассейна, мощность доломитового комплекса увеличивается, и он выделяется здесь под названием доломиты Камуил. Последние представлены, как правило, светлоокрашенными, массивными или грубослоистыми, реже тонкослоистыми доломитами.

По мнению австралийских геологов, доломитовый комплекс формировался в мелководной морской обстановке с повышенной соленостью.

Кремнисто-алевролитно-известняково-фосфоритовый комплекс маломощный, но сравнительно широко распространен, особенно по восточной окраине бассейна. Соответствует формациям Битл Крик и Бордер Уотер Хоул в Квинсленде и слоям Бартон и Уонара в пределах Северной территории. Формация Битл Крик, распространенная на юго-востоке бассейна, в районе месторождения Дачис подразделяется на нижнюю алевролитовую пачку мощностью до 60 м, состоящую из алевролитов, кремней и небольшого количества фосфоритов, и фосфоритовую пачку Монастери Крик. Мощность фосфоритовой пачки до 40 м; сложена она светлоокрашенными фосфоритами, алевролитами и кремнями с небольшими количествами известняков. Ниже зоны окисления породы имеют черный цвет. Слоистость варьирует от тонкой до средней; косая слоистость — обычна.

Для формации Битл Крик и ее эквивалентов характерны резкие изменения литологии даже на расстояниях в несколько сот метров, что затрудняет их подразделение на пачки и горизонты. В северо-восточном углу бассейна, на площадях Лоун Хилл и Бордер Уотер Хоул, мощность формации достигает 70 м и она состоит из неравномерно слоистых и желваковых кремней, кремнистых брекчий и конгломератов, алевролитов, кремнистых сланцев и фосфоритов. Местами в этом районе породы формации вверх и по латерали переходят в мелкозернистые, тонко- и среднеслоистые, кремнистые битуминозные известняки.

В районе месторождений сложена слоистыми кремнистыми мератами, фосфатными алевролитами), pelletными (минеральными) камнями. Местами в этом районе стилающими ее «известняками» имеет карстовую поверхность. Доломитовые заполнены кремнистыми алевролитами, обогащенными ганца. Вероятно, «известняки» ную поверхность и частично образования обогащались фосфором в создании слабофосфатных желваков, как, например, на восточной бассейна площади восточнее Милкса почти целиком слагается в присутствии или незначительной

Следовательно, рассматривая мировались в сравнительно и небольшом удалении от берега минералов, представленный значительным количеством элементов свидетельствует о разнообразной осадконакопления, включающие и сублиторальные условия

Алевролитно-сланцевый соответствует выделенным раз stratиграфическим единицам, зен и Лансвуд и алевролиты, ренном выше фосфатном комплексе алевролитовым комплексом (см. представлен литологически слоистой до 150 м) и алевролитовые алевролиты, кремнистые чаники с прослоями битуминозные кремнистых пород почти Западные и северо-западные, в литологическим аналогом формации зен мощностью 40—50 м, который комплексов. Далее на восточной границе бассейна рассматриваются отдельные изолированных пласта Леди Энн и Леди Джейн в которых отмечаются тонкие прослоения пространства комплекса для литологического состава. В районе формации Инка, затронутых чие алюмофосфатов.

В районе месторождений Леди Энн и Леди Джейн формация сложена слоистыми кремнями, кремнистыми брекчиями и конгломератами, фосфатными алевролитами (алеврритистыми фосфоритами), пеллетными (микрозернистыми) фосфоритами и песчаниками. Местами в этом районе граница между формацией и подстилающими ее «известняками» Торнтония неровная и напоминает карстовую поверхность. Карманы и депрессии на поверхности доломитов заполнены кремнисто-фосфоритной брекчией и фосфатными алевролитами, обогащенными гидроокислами железа и марганца. Вероятно, «известняки» Торнтония были выведены на дневную поверхность и частично эродированы, причем остаточные образования обогащались фосфором, высвобождавшимся при растворении слабофосфатных карбонатных пород. В отдельных местах, как, например, на небольшой, изолированной от основного бассейна площади восточнее Маунт Айза, рассматриваемый комплекс почти целиком слагается кремнями и аргиллитами при отсутствии или незначительной роли фосфоритов.

Следовательно, рассматриваемый комплекс и фосфориты формировались в сравнительно мелководной морской обстановке, в небольшом удалении от береговой линии. Комплекс глинистых минералов, представленный главным образом каолинитом с подчиненным количеством иллита и монтмориллонита, также свидетельствует о разнообразной и изменчивой во времени обстановке осадконакопления, включающей лагунные, эстуариевые, литоральные и сублиторальные условия.

Алевролито-сланцево-кремнистый комплекс соответствует выделенным различными авторами таким литолого-стратиграфическим единицам, как формация Инка, сланцы Блейзен и Лансвуд и алевролиты Роринг. Располагается на рассмотренном выше фосфатном комплексе и перекрывается песчано-алевролитовым комплексом (см. рис. 5). В районе Дачис комплекс представлен литологически сходными формацией Инка (мощностью до 150 м) и алевролитами Роринг (до 70 м). Это сланцеватые алевролиты, кремнистые сланцы, тонкослоистые кремни, песчаники с прослоями битуминозных известняков. Некоторые образцы кремнистых пород почти целиком сложены спикулами губок. Западнее и северо-западнее, в районе месторождения Ардмор, литологическим аналогом формации Инка являются сланцы Блейзен мощностью 40—50 м, которые ясно периклиниваются с известняковым комплексом. Далее на север и северо-запад по восточной границе бассейна рассматриваемый комплекс картируется на отдельных изолированных площадях. К западу от месторождений Леди Энн и Леди Джейн в основании формации Инка местами отмечаются тонкие прослой фосфоритов. На всей площади распространения комплекса для него характерно однообразие литологического состава. В районе месторождения Дачис в породах формации Инка, затронутых выветриванием, установлено наличие алюмофосфатов.

Известняковый комплекс включает несколько литолого-стратиграфических единиц, охватывающих период от среднего до верхнего кембрия. Известняковый комплекс перекрывает кремнисто-алевролитово-известняково-фосфоритовый комплекс и периклинивается с доломитовым на западе и с алевролитово-сланцево-кремнистым и песчано-алевролитовым на востоке (см. рис. 5).

В районе месторождения Дачис мощность комплекса достигает 900 м, представлен он различными разновидностями известняков: микрокристаллическими, оолитовыми, песчанистыми, доломитистыми, кремнистыми. Включает прослойки мергелистых известняков, известковистых аргиллитов, карбонатных брекчий и кремней. Отдельные горизонты карбонатных пород содержат первые проценты P_2O_5 .

Карбонатные породы темно-серого цвета, битуминозные, обычно слоистые. Местами отмечаются косая слоистость и следы ряби. Присутствуют окаменелые остатки организмов, иногда довольно многочисленные. В карбонатных породах отмечаются зерна кварца, полевых шпатов, пирит, слюда, глауконит и фосфатные пеллеты, диагенетические ромбы доломита. Некоторые кремнистые прослойки являются, по-видимому, первичными, другие образовались в результате замещения карбонатов. В северо-восточном углу бассейна (площади Бордер Уотер Хоул и Лоун Хилл) известняковый комплекс мощностью до 100 м выделяется под названием известняки Каррент Буш. Это тонко- и среднеслоистые желтоватые до темно-серых, алевролитистые или песчанистые известняки, содержащие местами прослойки кремней и окремненные участки. Известняки Каррент Буш согласно перекрываются доломитами Камуил. Вверх по разрезу в них увеличивается содержание доломита. По мнению Ф. Кайзера и П. Д. Кука [Keyser F., Cook P. J., 1972], значительная часть карбонатного материала комплекса образовалась, возможно, за счет разрушения ранее сформировавшегося доломитового комплекса (до его доломитизации) и отложения детритного материала в условиях мелкого моря.

Песчано-алевролитовый комплекс имеет возраст от позднего—среднего до верхнего кембрия. Распространен только по самой окраине бассейна Джорджина; состоит из красноцветных кварцевых песчаников, алевролитов, аргиллитов с тонкими прослойками и лентами кремней. В районе Дачис комплекс выделяется под названием сланцы О'Хара (мощностью до 100 м). Ископаемые остатки свидетельствуют о мелководном морском происхождении комплекса, отлагавшегося по окраине бассейна.

Кембрийские осадочные породы несогласно перекрываются либо терригенно-карбонатной толщей ордовиков, либо мезозойскими образованиями.

Палеогеографические реконструкции австралийских геологов [Howard P. F., 1972; Браун А. и др., 1970] показывают, что в кембрийское время на большей части Австралии господствовали морские, преимущественно мелководные условия (рис. 6). Бассейн Джорджина имел непосредственную связь на юго-западе с бас-



Рис. 6. Палеогеографическая карта Австралии. А. Браун и др. [1970].
1—6 — области распространения: 1 — кембрийские осадконакопления, 2 — известняки и эвапориты, 3 — известняки, 4 — известняки, 5 — известняки, 6 — известняки. II — направление 10° юго-запад. Бассейны: I — Амандиес, II — Джорджина.

сейном Амандиес, на западе он открывался в сторону океана. Климат был аридным, что способствовало накоплению фосфоритовых осадков. В бассейне Амандиес в нижнем кембрии (на планшетах: Рокспрингс — скв. Алиса 1) [Браун А. и др., 1970].

Фосфориты и фосфоритовые сланцы главным образом связаны с известняково-фосфоритовым комплексом (фосфоритовые сланцы, большие тела первичных фосфоритов). В части формирования известняков и фосфоритовых пород известняково-фосфоритовый комплекс содержит несколько процентов P_2O_5 .

По данным бурения в юго-западной части бассейна Джорджина в известняково-фосфоритовых породах, сланцах и

му, стратиграфическими эквивалентами фосфатного комплекса восточной окраины бассейна и залегающих на больших глубинах (800—2000 м), установлены повышенные содержания фосфора (2—10% P_2O_5). Интервалы этих фосфатных пород по мощности составляют 5—50 м. Скважины располагаются на значительных расстояниях друг от друга, поэтому уверенная корреляция фосфатных пород затруднена [Russel R. T., Trueman N. A., 1971].

К настоящему времени в бассейне обнаружено более 15 месторождений фосфоритовых руд, большинство которых располагается цепочкой вдоль восточной и северо-восточной границ бассейна, протягиваясь на 850 км. Несколько месторождений приурочено к поднятиям фундамента во внутренней части бассейна. Все месторождения вытянуты вдоль палеопобережья бассейна. Наиболее крупные из них прослеживаются в длину на расстояние до 25 км при ширине от 300 м до 6,8 км. Максимальная мощность фосфоритовых руд изменяется от 7 до 37 м, при средней мощности 2—11 м. Запасы фосфоритовых руд только в Квинсленде 2,5 млрд. т. Месторождения группируются в четыре группы: юго-восточную, восточную, северо-восточную и западную.

Юго-восточная группа включает месторождения Дачис, Ардмор, Квита-Крик (35 км южнее Ардмор). Самое крупное из них, да и во всем бассейне, месторождение Дачис, открытое в 1966 г., представляет собой серию пластообразных тел, протягивающихся цепочкой с севера на юг на расстоянии около 25 км. Район месторождения ограничен крупными сбросами, амплитуда которых на западе и севере 30—90 м, а на востоке, у основного сброса — до 300 м. Мощность палеозойских осадков постепенно увеличивается на юг до 1500 м, при этом происходит погружение продуктивной толщи.

В фосфоритоносной пачке Монастери-Крик формации Битл-Крик выделяются две фации: кремнистая и карбонатная. Наиболее высококачественные фосфоритовые руды развиты в кремнистой фации, которая приурочена к широким структурным повышениям и к склонам поднятий. Карбонатная фация, представленная карбонатными фосфоритами, фосфатными известняками с прослоями кремней и слабо доломитистыми известняками, формировалась в более глубоких частях бассейна. Осадки кремнистой и карбонатной фаций периклиниваются между собой и переходят друг в друга на коротких расстояниях. В зонах перехода среди кремнистых фосфоритов присутствуют глыбы фосфатных известняков. Мощность фосфоритовых руд 10—15 м, содержание P_2O_5 в среднем 18%. Прогнозные запасы определены в 1100 млн. т фосфоритовых руд.

Месторождение Ардмор приурочено к небольшому изолированному выходу кембрийских осадочных пород. Фосфоритовые руды распространены на площади в несколько квадратных километров; максимальная мощность их около 12 м, средняя 7 м. Месторождение Квита-Крик содержит несколько небольших тел фосфоритов, одно из которых располагается на закарстованной поверхности «известняков» Торнтония.

Восточная группа включает Энн, Леди Джейн, Шеррин-Д-Три располагается на плоских ванных пластах фосфоритовых осадков средней мощностью около 6 м. Фосфатная порода располагается на песчано-глинистых «известняках» Торнтония. Глубина до 9 м, секущие породы состоят из тонкозернистой каолинит-песчанистой материнской породы. Вода фосфатных отложений в скважинах заполнены морскими слабосолеными водами. Месторождения Леди Энн, прогнозные запасы руд с 18% P_2O_5 , наблюдаются в скважинах. По мощности на небольшом расстоянии от поверхности «известняков» Торнтония [1972]. Прогнозные запасы месторождения оценивались 500 млн. т фосфоритовых руд с содержанием 16% P_2O_5 и мощностью в скважинах до 16 м. Месторождение Лили-Крик фосфатных пород. Месторождение Шеррин-Крик алевритистые фосфоритовые руды.

Северо-восточная группа включает месторождения Бордер Уотер Хоул, Уотер Хоул, носительные небольших месторождений О'Коннор, Бабблин Брук, Уотер Хоул, Фантом Хиллс. Фосфоритовые руды представлены кремнистыми брекчиями. Мощность до 10 м (Фантом Хиллс). Прогнозные запасы руд, вероятно, превышают 100 млн. т. Западная группа, расположенная в восточной части бассейна, включает месторождения Энн и включающая месторождения Энн, отделена от восточной группы восточными поднятиями Камуил шириной 170 км. Месторождение Энн представлена здесь алевритистыми фосфоритовыми рудами, кремнистыми известняками и фосфатными осадками периклина. Месторождение Антони Лагун Бедс, содержит фосфоритовые руды.

На месторождении Уотер Хоул скважинах на глубинах 16 м. Месторождение Энн приурочено к поднятиям фундамента или непосредственно на восточной окраине бассейна. На месторождении Энн подсечены в скважинах породы мощностью 12—53 м. Здесь четко выражены отложения фосфоритов с подчиненными кварцитами и кремнистыми известняками, а затем фосфоритовыми рудами, переслаивающимися с известняками.

ков и доломитов. Фосфоритовые руды низкокачественные, содержат 10—16% P_2O_5 . На месторождении Элрой фосфоритовые руды располагаются в карбонатных породах.

Почти на всех известных месторождениях устанавливается одна и та же латеральная последовательность в изменении фаций: мелководная близбереговая ассоциация фосфоритов, фосфатных алевролитов и кремней переходит по мере удаления от берега в фосфатные, фосфатно-кремнистые известняки или доломитовые породы. Переходы от карбонатных к фосфатно-кремнистым фациям резкие, на расстояниях 450—1200 м, а иногда — на расстоянии всего лишь 150 м. На некоторых месторождениях обнаружены признаки, свидетельствующие о том, что образование фосфоритов и фосфатных пород происходило в ограниченных прибрежными барами заливах. На месторождении Дачис затрудненная связь с морским бассейном обусловила образование застойной обстановки, в которой отлагались темные карбонатные алевролиты и битуминозные известняки. Месторождения Уонара, а также, вероятно, Д-Три, Леди Энн, Лили-Крик, Шеррин-Крик и Ардмор представляют собой примеры отложения фосфоритов на подводных поднятиях фундамента.

Фосфориты и фосфоритовые руды бассейна по морфологическим признакам делятся на несколько типов [Keyser F., Cook P. J., 1972].

Микрозернистые (пеллетные) фосфориты сложены округлыми фосфатными зернами размером 0,06—0,6 мм с небольшим числом оолитов. Цементирующая масса представлена кремнеземом, кальцитом или фосфатным веществом. Присутствуют глинистый материал и кластические частицы алевритовой размерности (обычно до 5%). Очень часто отмечается тонкорассеянный пирит. Внутренняя структура зерен или не просматривается, или выражена очень слабо. Некоторые зерна-пеллеты имеют в качестве центров обломочные частицы или скелетные фрагменты размером 0,01 мм. Фосфориты этого типа обычно тонкослоистые. Иногда обнаруживается косая слоистость.

Аргиллитоподобные фосфориты (argillaceous phosphorite, colophane mudstone) состоят из основной массы бесструктурного фосфатного вещества, в которой рассеяны полуокатанные алевролитовой размерности зерна кварца. При больших увеличениях просматривается, что фосфатное вещество сложено волокнистыми массами, состоящими из тонких иглоподобных кристаллитов, местами ориентированных радиально и образующих микроферролитовые структуры. Иногда присутствуют единичные фосфатные зерна (пеллеты), но в общем они довольно редки. Аргиллитоподобные фосфориты, в отличие от микрозернистых (пеллетных), обычно лишены пирита и содержат много больше кластического материала, образуя постепенные переходы до фосфатных алевролитов и фосфатных песчаников.

Вторичные фосфориты (phoscrete) слагаются бесструктурной очень тонко- или скрытокристаллической массой фосфат-

ного вещества. В качестве примесей в них встречаются гидроокислы железа и марганца, а также другие минералы и обломочные частицы. Фосфориты в фосфатном веществе просматриваются как первичные и иглоподобные кристаллиты, которые обычно светлую окраску, желтоватую или сероватую, в отличие от первичных аргиллитоподобных фосфоритов. Вторичные фосфориты более высокие содержания фосфора, наличие нерегулярных телос, а также, наличие стилолитоподобных текстур, псевдоморфоз ромбической формы, полного или частичного замещения первичными вторичными фосфатами. Вторичные фосфориты сложены на глубинах 5—10 м. Широко распространены в бассейне месторождений и в ограниченных количествах в месторождениях других групп. Во время образования в основном в бассейне, вероятно, существуют и сформировались.

Брекчиевые фосфориты (brecciated phosphorite) или иной мере в результате выветривания и фосфатсодержащих пород (брекчиевые) представлены или микрозернистыми фосфоритами или известняками. Цементом является микрозернистый фосфат.

Микрозернистые (пеллетные) фосфориты играют основную роль в бассейне месторождений Дачис и Ардмор. В бассейне (Д-Три, Шеррин-Крик, Лили-Крик) распространены аргиллитоподобные фосфориты. Глинистые фосфориты в этой группе встречаются редко, за исключением только месторождения в восточной группе месторождений бассейна, которые являются брекчиевыми, аргиллитоподобными. Микрозернистые фосфориты распространены в западной группе месторождений бассейна. В основном аргиллитоподобные с редкими микрозернистыми фосфоритами.

Фосфатное вещество фосфоритов является фторапатитом. В качестве примесей в них встречаются на кварца, глинистые минералы и флюориды. В качестве тяжелых минералов и флюоридов сходны с фосфоритами формации в североафриканских фосфоритовых бассейнах (ответственно 1—2% и 4—7%). Первичные и второстепенные компоненты бассейна отличаются от всех других групп аргиллитоподобные и вторичные фосфориты.

нные, содер-
итовые руды

анавливается
менении фа-
тов, фосфат-
ния от бере-
ли доломито-
-кремнистым
да — на рас-
дениях обна-
образование
иченных при-
с затруднен-
вание засто-
онатные эле-
ия Уонара, а
ррин-Крик и
осфоритов на

морфологиче-
F., Cook P. J.,

ты сложены
мм с неболь-
гавлена крем-
Присутствуют
товой размер-
корассеянный
ривается, или
имеют в каче-
рагменты раз-
онкослонные.

laseous phosph-
ссы бесструк-
олуокатанные
ших увеличе-
чено волокни-
ых кристалли-
щих микросфе-
ые фосфатные
ки. Аргилли-
тых (пеллет-
льше класти-
до фосфатных

ются бесструк-
ассой фосфат-

ного вещества. В качестве примесей отмечаются кремнезем, кальцит, гидрокислы железа и марганца (иногда обильные), глинистые минералы и обломочные частицы. При больших увеличениях в фосфатном веществе просматриваются пластинчатые гексагональные и иглоподобные кристаллы апатита. Фосфориты имеют обычно светлую окраску: желтоватую, коричневатую и др. Некоторые разновидности вторичных фосфоритов почти не отличаются от первичных аргиллитоподобных фосфоритов. Для первых характерны более высокие содержания гидроокислов железа и марганца, наличие нерегулярных полос, окрашенных этими гидроокислами, стилолитоподобные текстуры, обилие мелких неотчетливых псевдоморфов ромбической формы, образовавшихся в результате полного или частичного замещения карбонатов фосфатами. Местами вторичные фосфориты слагают крутые откосы высотой до 5—10 м. Широко распространены в северо-восточной группе месторождений и в ограниченных количествах присутствуют и в месторождениях других групп. Вторичные фосфориты по времени образования в основном являются кайнозойскими, но вероятно, существуют и сформировавшиеся еще в кембрийское время.

Брекчиевые фосфориты образовались, вероятно, в той или иной мере в результате выветривания первичных фосфоритов и фосфатсодержащих пород (брекчии обрушения). Обломки представлены или микрозернистыми фосфоритами, или кремнями, или известняками. Цементом является обычно бесструктурный, реже микрозернистый фосфат.

Микрозернистые (пеллетные) фосфоритовые руды и фосфориты играют основную роль на юго-востоке бассейна, на месторождениях Дачис и Ардмор. В восточной группе месторождений (Д-Три, Шеррин-Крик, Лили-Крик и Леди Джейн) наиболее распространены аргиллитоподобные фосфоритовые руды. Микрозернистые фосфориты в этой группе месторождений встречаются редко, за исключением только месторождения Леди Энн. В северо-восточной группе месторождений фосфоритовые руды представлены брекчиевыми, аргиллитоподобными и вторичными разновидностями. Микрозернистые фосфориты здесь почти совсем отсутствуют. В западной группе месторождений фосфоритовые руды в основном аргиллитоподобные с редкими маломощными прослоями микрозернистых фосфоритов.

Фосфатное вещество фосфоритов определяется как карбонат-фторapatит. В качестве примесей в фосфоритах присутствуют зерна кварца, глинистые минералы, карбонаты и в небольшом количестве тяжелые минералы и флюорит. По химическому составу они сходны с фосфоритами формации Фосфория, но отличаются от североафриканских фосфоритов меньшим содержанием CO_2 (соответственно 1—2% и 4—7%). По содержанию некоторых основных и второстепенных компонентов микрозернистые фосфориты бассейна отличаются от всех других типов, в то время как аргиллитоподобные и вторичные фосфориты по этому признаку в ряде

Вторичные фосфориты.

Вместе с другими типами фосфоритов, хрома, стронциевых фосфоритов в фосфоритах в провинции Дачис достигаются до 0,5%. Фосфориты радиоактивны. Хорошая корреляция с P_2O_5 , хотя в отложениях не выделя-

ются, можно подразделить элементы в P_2O_5 , Na_2O , CO_2 , F или SiO_2 , Al_2O_3 , K_2O , TiO_2 , CaO , входящими в состав, а между P_2O_5 и другими компонентами, — отри-

цельно карбонатных и кремнистых карбонатных пород, склеивания от полностью дифференциации карбонатных пород, в большей мере часть кремнистых известняков известными продуктами выщелачивания; в) раскристаллизация карбонатных пород; г) флюоритизация; д) флюоритизация образуются за счет вто-

ричных (Дачис) в слое кремнистых пород округлые обломки (P_2O_5) размером в несколько десятков микрон. При этом карбонатные обломки, где они уплотняются, имеют диаметр — 0,7 мм [Keyser F., 1972]. Образование остатками фосфоритового были частично выщелачиваемые фосфориты, а также фосфоритовые фосфориты. Фосфориты формировались в мелководной мелководные

банки), на глубинах, не превышающих 100 м, вероятно в нескольких отдельных, временами сливавшихся суббассейнах. Осадки, по-видимому, постоянно перерабатывались течениями или волновой деятельностью, на что указывает присутствие сложных пеллет, образованных из нескольких простых, и другие признаки. Привнос терригенного материала, вследствие отграничения площадей фосфоритообразования от суши ловушками типа трогов, прибрежных котловин или баров, был незначителен. Вероятно, соленость в прибрежных участках, где происходило образование фосфоритов, была близка к нормальной или несколько повышенной. В центральной части бассейна, где отлагались карбонатные осадки, предполагается существование повышенной солености вод [Keyser F., Cook P. J., 1972].

Закономерности размещения месторождений микрозернистых фосфоритовых руд в миогеосинклиналильных бассейнах

Из приведенной характеристики месторождений микрозернистых руд четырех фосфоритоносных бассейнов вытекает ряд закономерностей их размещения, которые могут быть объединены в несколько групп: стратиграфические, тектонические, литологические, палеогеографические и геохимические [Гиммельфарб Б. М., 1965; и др.].

Стратиграфические закономерности заключаются в приуроченности фосфоритоносных отложений к определенным синхронным уровням и горизонтам, характерным для каждого бассейна.

В бассейне Скалистых гор стратиграфический контроль проявляется в приуроченности фосфоритовых руд к формации Фосфоритов пермского возраста [Mc. Kelvey V. E., 1959; Орлова Е. В., 1951; Шатский Н. С., 1955; Cressman E. R., Swanson R. W., 1964; Бушинский Г. И., 1969; и др.). В Каратауском бассейне месторождения фосфоритовых руд связаны с чулактауской свитой нижнего кембрия [Табылдиев К. Т., 1973; и др.], в Хубсугульском бассейне — с отложениями доднурской свиты предположительно вендского возраста, в бассейне Джорджина — с формацией Битл-Крик среднекембрийского возраста [Russel R. T., 1967; Russel R. T., Trueman N. A., 1971; Howard P. F., 1972; Keyser F., Cook P. J., 1972 и др.]. Вследствие метаморфизма, разрывной тектоники, а также влияния других наложенных процессов, более детальное расчленение фосфоритоносных отложений в бассейнах однозначно и надежно не произведено, что затрудняет уточнение стратиграфического положения фосфоритовых руд. Для бассейна Скалистых гор установлено, что главные промышленные залежи разновозрастные: на юге они приурочены к образованиям нижней (пачка Мид Пик), а на севере — верхней (пачка Реторт) перми. В Хубсугульском бассейне А. В. Ильин отмечает наличие двух фосфоритоносных горизонтов: одного в верхнем протерозое, по-видимому в венде, и второго — в нижнем кембрии. Более древний

горизонт распространен преимущественно на севере, молодой — на юге бассейна. Максимум продуктивности связан с более древним горизонтом.

Тектонические закономерности. До сих пор не существует общепринятой точки зрения по вопросу, к каким структурам первого порядка относятся рассмотренные бассейны — к платформам или геосинклиналям [Казаков А. В., 1950; Шатский Н. С., 1955; Гиммельфарб Б. М., 1958]. А. С. Соколов, рассматривая существующие представления различных исследователей по этому вопросу, отмечает: «...к сожалению, должны констатировать, что геотектонические условия формирования многих фосфоритовых месторождений неясны или определены только в самых общих чертах...» [Соколов А. С., 1974, с. 116]. К аналогичному заключению пришел и Э. А. Еганов [1974]. Единственный вывод, который можно сделать из анализа строения и размещения фосфоритоносных бассейнов, — это приуроченность их к переходным структурам, расположенным между древними геосинклиналями и платформами, которые ближе всего отвечают миеосинклиналям. В пределах бассейнов промышленные залежи микрозернистых фосфоритовых руд локализуются по периферии небольших конседиментационных прогибов (Каратау, Хубсугул), а также на склонах внутрибассейновых поднятий (Джорджина).

Литологические закономерности. В крупном плане (на уровне бассейнов) микрозернистые фосфоритовые руды находятся в ассоциации с тремя основными типами пород: карбонатными, кремнистыми и терригенными. При этом в составе фосфатоносных комплексов почти всегда преобладают карбонатные породы, за ними по распространенности следуют кремнистые породы. Терригенные породы в фосфатоносных комплексах представлены не повсеместно. Эти фосфоритоносные комплексы имеют более или менее четкие либо литологические, либо структурно-тектонические границы. На основании этого комплексы пород, распространенные в структурах типа миеосинклиналей, с которыми связаны микрозернистые фосфоритовые руды, выделялись различными исследователями под названием кремнисто-карбонатной формации. Кроме состава, эта формация во всех бассейнах миеосинклинального типа характеризуется одинаковым положением в вертикальных и латеральных рядах формаций, однородным характером фосфоритоносности и другими признаками. Вместе с тем каждая конкретная фосфоритоносная формация в том или ином бассейне по составу слагающих пород, их распределению в пространстве и т. д. при более детальном рассмотрении имеет некоторую специфику.

В бассейне Скалистых гор в состав формации входят три литологических комплекса (формации в трактовке американских геологов): Фосфория (кремни, фосфориты, сланцы и др.), Парк Сити (карбонатные породы) и Шедхорн (песчаники). В Каратауском бассейне фосфоритоносная формация выделяется в объеме

доломиты, кремнистые породы и тоносная формация этого бассейна да от кремнисто-терригенных сланцев доломитам и известнякам. Джорджина аналогичная формация Торнтония и кремнисто-алевритовый комплекс, располагается в разрезе формации Риверсдейл в Камуил) или в терригенно-инка.

Карбонатные породы — обязательная фосфоритоносная формация. Количество в различных разрезах бассейна проявляется тенденция в определенном направлении. Общей закономерностью карбонатных пород, особенно четко сугульском и Джорджина, является тенденция к палеосуше и увеличению фосфоритоносности. Фосфоритоносная формация может почти целиком отсутствовать. Для карбонатных пород формации характерны: доломитовый состав, в разрезе, повышенная кремнистость, указывающие на рифогенный характер их в мелководных условиях.

Кремнистые породы присутствуют повсеместно. Для них характерна чрезвычайная изменчивость относительного количества пород в разных разрезах формации, либо массивными или блоками.

Наконец, присутствие кремнистых пород в виде окремнения карбонатных пород. Формации сложены халцедоном и микрокристаллическим кварцем преимущественно серый и черный. Сланцы по составу глинисто-кремнистые, последние обычно содержат повышенное количество молибдена и некоторых других элементов. В Скалистых горах количество кремнистых пород в фосфоритоносной формации резко увеличивается в геосинклинальной области. В разрезе это является основной массы фосфоритовых месторождений внутри карбонатных толщ.

Терригенные породы (глинистые) широко распространены во всех разрезах. В отношении фосфоритоносности они имеют тенденцию к увеличению количества терригенных пород.

на севере, молодой —
ти связан с более древ-

пор не существует об-
ким структурам перво-
сейны — к платформам
Шатский Н. С., 1955;
в, рассматривая суще-
дователей по этому во-
онстатировать, что гео-
гих фосфоритовых ме-
то в самых общих чер-
логичному заключению
ный вывод, который
ещения фосфоритонос-
к переходным структу-
синклиналями и плат-
т миогеосинклиналям.
ки микрозернистых фос-
ни небольших консед-
ул), а также на скло-
ина).

ном плане (на уровне
руды находятся в ас-
карбонатными, крем-
оставе фосфатоносных
рбонатные породы, за-
нистые породы. Терри-
сах представлены не
ксы имеют более или
уктурно-тектонические
род, распространенные
оторыми связаны ми-
сь различными иссле-
бонатной формации.
сейнах миогеосинкли-
положением в верти-
однотипным характе-
ми. Вместе с тем
ция в том или ином
спределению в про-
трении имеет неко-

ции входят три ли-
овке американских
анцы и др.), Парк
чаники). В Кара-
ыделяется в объе-
ную роль играют

доломиты, кремнистые породы и фосфориты. В разрезе фосфори-
тоносная формация этого бассейна приурочена к границе перехо-
да от кремнисто-терригенных отложений малокаройской серии к
доломитам и известнякам шабактинской свиты. В бассейне
Джорджина аналогичная формация, включающая «известняки»
Торнтония и кремнисто-алевролито-известняково-фосфоритовый
комплекс, располагается в разрезе на переходе терригенных по-
род формации Риверсдейл в карбонатные породы (доломиты
Камуил) или в терригенно-кремнистые отложения формации
Инка.

Карбонатные породы — обязательный член кремнисто-карбо-
натной фосфоритоносной формации во всех бассейнах, однако их
количество в различных разрезах сильно меняется. В Каратауском
бассейне проявляется тенденция к их увеличению в северо-запад-
ном направлении. Общей закономерностью распределения карбо-
натных пород, особенно четко проявляющейся в бассейнах Хуб-
сугульском и Джорджина, является уменьшение их роли в направ-
лении к палеосуше и увеличение к осевой части палеобассейна, где
формация может почти целиком состоять из карбонатных пород.
Для карбонатных пород формации в большинстве случаев харак-
терны: доломитовый состав, брекчиевые текстуры в отдельных го-
ризонтах, повышенная кремнистость, а также нередко признаки,
указывающие на рифогенный характер карбонатов и образование
их в мелководных условиях.

Кремнистые породы присутствуют в формациях всех бассей-
нов. Для них характерна чрезвычайная изменчивость формы про-
явления, относительного количества и положения среди других
пород в разных разрезах формации. Представлены они либо слан-
цами, либо массивными или брекчиевыми кремнями, либо конкре-
циями.

Наконец, присутствие кремнезема часто фиксируется в
виде окремнения карбонатных и другого состава пород. Кремни-
сложены халцедоном и микрокристаллическим кварцем, имеют
преимущественно серый и черный цвет, нередко брекчиевое сло-
жение и в некоторых случаях обильные реликты спикул губок.
Сланцы по составу глинисто-кремнистые, углисто-кремнистые. По-
следние обычно содержат повышенные концентрации ванадия,
молибдена и некоторых других рассеянных элементов. В бассейне
Скалистых гор количество кремнистых пород в составе фосфори-
тоносной формации резко увеличивается в сторону прилегающей
геосинклинальной области. В ряде бассейнов отмечается тяготе-
ние основной массы фосфоритов к кремнистым породам, залегаю-
щим внутри карбонатных толщ.

Терригенные породы (глинистые сланцы, песчаники) также
широко распространены во всех бассейнах. Негативная роль их
в отношении фосфоритоносности проявляется довольно четко.
Увеличение количества терригенных пород в составе формации,
как правило, приводит к сокращению мощности и ухудшению ка-
чества фосфоритовых руд.

В бассейне Джорджина [Russel R. T., 1967; Keyser F., Cook P. J., 1972; и др.], фосфориты приурочены к кремнисто-алевролитово-известняковому фосфоритоносному комплексу, который подвержен определенным литологическим изменениям в пространстве. С востока на запад от периферии бассейна к центру в этом комплексе выклиниваются терригенные и кремнистые породы, значительно увеличивается количество известняков и доломитов, которые далее при приближении к другому берегу палеобассейна вновь сменяются прибрежно-морскими и континентальными красноцветными осадками, в которых присутствует гипс.

Существует ряд сходных закономерностей в литологическом строении фосфоритоносных бассейнов миогеосинклинального типа (Каратауского, Хубсугульского, Джорджина, Скалистых гор), при сохранении определенной индивидуальности каждого из них. В разрезе фосфоритоносные формации во всех этих бассейнах занимают одинаковое положение в низах мощной карбонатной серии, залегающей с разрывом на терригенном (дархатская в Хубсугульском, малокаройская в Каратауском бассейнах) или вулканогенно-терригенном (Джорджина) комплексах. В этих бассейнах в верхних горизонтах подстилающего, существенно терригенного комплекса появляются красноцветные отложения, пласты и линзы карбонатных пород. В подстилающих толщах в некоторых бассейнах присутствуют «тиллитоподобные» породы. Для карбонатной серии, содержащей в основании продуктивную формацию, характерна высокая степень доломитности. Фосфоритовые руды в пределах фосфоритоносной формации тяготеют к кремнистым породам, при этом залежи их локализируются как в разрезе, так и по латерали обычно в зонах смены литологического состава пород, например, кремнистых пород карбонатными в Каратауском и других бассейнах, доломитов известняками, терригенных карбонатными (бассейны Скалистых гор, Джорджина).

Палеогеографические закономерности. Для всех фосфоритоносных бассейнов характерно развитие процессов фосфоритонакопления на фоне замедления карбонатной седиментации, в сравнительно мелководной близбереговой зоне, обычно на стыке с зоной терригенной седиментации. Особенно много сходства намечается между бассейнами вендско-кембрийского (или рифейско-кембрийского) возраста: Каратауского, Хубсугульского и Джорджина. Каждый из них представлял собой мелководный проливнообразный водоем, открытый в обе стороны, длиной 250—300 км (Каратауский, Хубсугульский) или несколько больше 400—500 км (Джорджина) [Тушина А. М. и др., 1969; Ильин А. В., 1973; Keyser F., Cook P. J., 1972]. Окружающая их суша характеризовалась низким сглаженным рельефом, откуда почти не приносился разубоживающий фосфориты терригенный материал.

Климат эпох фосфоритонакопления в ряде случаев был аридным, о чем свидетельствуют фациальные переходы фосфоритоносных отложений в эвапоритовые. Некоторые фосфоритоносные бассейны являлись промежуточным звеном между геосинклинальными

ми (нормально морскими) и бассейнами. Эту особенность для ряда исследователей, в том числе фосфоритонакопления характерным рельефом с наличием водоемов, иногда выступали на дневную поверхность, например, в Каратауском бассейне в условиях развития донных осадков существуют конседиментационные условия, распространенные во всех структурных признаках отложений (и др.). Кроме этого, благоприятными условиями для накопления мощных фосфоритов являлись: высокая биологическая продуктивность, наличие зон подъема глубинных вод.

Сравнивая Хубсугульский и Каратауский бассейны, А. В. Ильин выделяет следующие особенности их палеогеографические особенности. Выделяются широкая осевая зона, в которой фосфориты заключены в карбонатной структуре хр. Малый Каратауский хребта юго-западному борту. Очевидно, есть и другой, северный бассейн, ныне под различными названиями (Хубсугульская депрессия...). Далее продуктивной пачки в бассейне, в частности, в осевой зоной эта пачка встречается (берега) бассейна. Ширина осевой зоны 15—20 км. Продуктивность осевой зоны на 1 м². Содержание нерастворимых фосфоритов в пределах от 10 до 20%. В бассейне продуктивная свита проводится выклинивание свиты, связанное с появлением обломочных и терригенных пород, широким распространением карбонатных пород, нерастворимого остатка мелководной продуктивной свиты также встречается. В ее составе все более обильно встречаются сланцы кремней, углеродистых сланцев. Фосфориты становятся все более тонкими. В осевой зоне фосфориты, как таковые, не формируются, а являются рассредоточенный в более широкой зоне. «Фосфориты встречаются и здесь» [Ильин А. В., 1973].

Геохимические закономерности. В осевой зоне микрозернистых фосфоритовых руд преобладают SiO₂, F, MgO и CO₂ — состав

1967; Keyser F.,
ны к кремнисто-але-
комплексу, который
енениям в простран-
йна к центру в этом
нистые породы, зна-
ов и доломитов, ко-
регу палеобассейна
инентальными крас-
гипс.

в литологическом
синклинального типа
Скалистых гор), при
каждого из них.
х этих бассейнах за-
ной карбонатной се-
(дархатская в Хуб-
бассейнах) или вул-
ксах. В этих бассей-
ственно терриген-
отложения, пласты и
толщах в некоторых
породы. Для карбо-
активную формацию,
осфоритовые руды в
от к кремнистым по-
ак в разрезе, так и
ического состава по-
ми в Каратауском и
ригенных карбонат-

всех фосфоритнос-
фосфоритнакопле-
гации, в сравнитель-
а стыке с зоной тер-
одства намечается
рифейско-кембрий-
о и Джорджины.
ный проливообраз-
250—300 км (Ка-
льше 400—500 км
и А. В., 1973; Кеу-
характеризовалась
е приносился раз-

лучаев был арид-
ды фосфоритнос-
оритоносные бас-

ми (нормально морскими) и эвапоритовыми (осолоненными) бас-
сейнами. Эту особенность для бассейна Скалистых гор отмечали
ряд исследователей, в том числе М. А. Жарков [1972]. Бассейны
фосфоритнакопления характеризовались сложным изрезанным
рельефом с наличием подводных впадин и поднятий. Последние
иногда выступали на дневную поверхность в виде островов (на-
пример, в Каратауском бассейне). Фосфориты формировались в
условиях развития донных течений и перемывов, о чем свидетель-
ствуют конседиментационные фосфоритовые конгломераты и брек-
ции, распространенные во всех бассейнах, а также текстурно-
структурные признаки отложений (косая слоистость, знаки ряби и
др.). Кроме этого, благоприятными дополнительными условия-
ми накопления мощных залежей фосфоритов, по-видимому,
являлись: высокая биологическая продуктивность бассейна, на-
личие зон подъема глубинных вод, богатых растворенными фос-
фатами.

Сравнивая Хубсугульский и Каратауский фосфоритоносные
бассейны, А. В. Ильин делает следующие выводы, раскрывающие
их палеогеографические особенности: «В поперечном их профиле
выделяются широкая осевая зона и две узкие прибортовые, при-
чем фосфориты заключены лишь в последних. В современной
структуре хр. Малый Каратау виден лишь один фрагмент, отвеча-
ющий юго-западному борту древнего фосфоритоносного бассейна;
очевидно, есть и другой, северо-восточный борт, который скрыт
ныне под различными более молодыми отложениями Муюнкум-
ской депрессии...». Далее намечается общая схема изменения
продуктивной пачки в бассейнах: «С максимальной продуктив-
ностью эта пачка встречается на некотором расстоянии от борта
(берега) бассейна. Ширина такой оптимальной зоны составляет
15—20 км. Продуктивность пачки достигает здесь 30—35 т P_2O_5
на 1 м². Содержание нерастворимого остатка в фосфоритах нахо-
дится в пределах от 10 до 20%. От этой зоны в сторону берега
бассейна продуктивная свита уменьшается в мощности, что со-
провождается выклиниванием отдельных горизонтов фосфоритов,
появлением обломочных и, в частности, грубообломочных, широ-
ким распространением карбонатных фосфоритов с содержанием
нерастворимого остатка менее 5—7%. В сторону осевой зоны
продуктивная свита также постепенно уменьшается в мощности.
В ее составе все более обильными и мощными становятся гори-
зонты кремней, углеродисто-кремнистых либо серицитово-кремни-
стых сланцев. Фосфориты становятся более бедными, а пласты их
более тонкими. В осевой же зоне прогиба фосфоритоносные пач-
ки, как таковы, не формировались, хотя фосфатный материал,
рассредоточенный в более широком интервале разреза, встреча-
ется и здесь» [Ильин А. В., 1973, с. 136]. В приведенной характе-
ристике много общего и с бассейном Джорджина.

Геохимические закономерности. Главные компоненты

Содержание P_2O_5 в фосфоритах обычно изменяется в следующих пределах (в %): в бассейне Скалистых гор 28,16—34,43; в Каратауском 18,01—29,06; в Хубсугульском 16,86—37,69; в Джорджине 18,1—39,2. Наиболее стабильные содержания P_2O_5 отмечаются в фосфоритах Скалистых гор и Каратау, а в Хубсугульском бассейне и Джорджине нередко значительные колебания.

Содержание CaO обычно находится в пределах от 30—35 до 50—55% и часто превышает его молекулярное количество в минералах группы апатита, что связано с присутствием в фосфоритах карбонатов. Кремнезем является посторонней примесью, и его содержание резко изменяется от 0 до 30—50%. Наиболее богаты кремнеземом фосфориты Каратауского бассейна и бассейна Скалистых гор. Фтор проявляет сильную положительную связь с фосфором. CO_2 , связанная в основном примесями карбонатов, составляет в фосфоритах и фосфоритовых рудах обычно от 2—3 до 10%, иногда больше. Максимальные содержания CO_2 отмечаются в карбонатных фосфоритах; минимальное содержание характерно для фосфоритов бассейна Джорджина. В Скалистых горах и Каратауском бассейне фосфориты по содержанию CO_2 занимают промежуточное положение. Помимо карбонатных минералов, в небольшом количестве CO_2 входит в кристаллическую решетку фосфатных минералов.

Своеобразие геохимических условий во время фосфатонакопления отразилось на составе и содержаниях рассеянных элементов. Наиболее характерными рассеянными элементами, которые почти всегда присутствуют в фосфоритах всех бассейнов в количествах значительно выше кларка их в карбонатных породах, являются уран и стронций. Содержания урана достигают иногда таких значений, когда фосфориты могут являться сырьем для его извлечения, как, например, для некоторых месторождений бассейна Скалистых гор [Gulbrandsen R. A., 1960, 1966]. Благодаря высокой радиоактивности были выявлены месторождения бассейна Джорджина [Keyser F., Cook P. J., 1972]. Повышенной радиоактивностью характеризуются также фосфориты Хубсугульского и Каратауского бассейнов [Ильин А. В., 1973; Табылдиев К. Т. и др., 1973].

Установлен важный геохимический ряд закономерностей, имеющих практическое значение при поисках и прогнозировании микрозернистых фосфоритовых руд: 1) развитие вокруг них фосфатных пород, обуславливающих наличие первичных ореолов рассеяния фосфора и элементов-индикаторов (фтор, радиоактивные элементы, иногда некоторые другие); 2) присутствие в кремнисто-карбонатной фосфоритоносной формации углеродисто-кремнистых сланцев, отличающихся повышенными содержаниями ванадия, а иногда и ряда других химических элементов — молибдена, цветных металлов; 3) наличие обогащенных железом и марганцем пород, ассоциирующих непосредственно с продуктивными отложениями (Каратауский бассейн, Джорджина).

Алтае-Саянский фосфоритовый бассейн совпадает с одноименной Алтае-Саянской платформой, которая окаймляет с юга и востока платформу. Он относится к складчатой платформе, которая возникла в эокайнозойское время эта область испытала прогибы и поднятия типа среднекайнозойского. Восточнее платформы происходили значительные поднятия, связанные с интенсивным вулканизмом (Саяно-Алтайская падная Тува), вторые — связанные с слабым вулканизмом и прерывистыми осадконакоплениями (Горная Шория, Саян, Восточная Тува). Однако восточнее южные троговые зоны, соответствующие разломам.

Изучением фосфоритовосности Алтае-Саянской складчатой области трудников многих организаций, исследования опубликованы в 1966; Еганов Э. А., 1968; Фосфоритовосные..., 1972; Геолого-геохимический...

В Алтае-Саянском бассейне проявлений фосфоритов разномасштабных. Фосфатноносность разнородная по всему разрезу, начиная от верхних горизонтов нижнего кембрия. Фосфоритовосны существенно связаны с вариациями от чисто карбонатных пород. Этот комплекс отложений занимает определенное положение в геосинклиальном поднятии и является приуроченностью комплекса восточнее самостоятельной крупной карбонатной надформации, включающей по вещественному составу фосфоритовые...

Отличительным ее признаком являются породы: фосфориты, доломиты, известняки, карбонатные породы, реже кремнистые. К ним относятся отложения енисейской (тамыльско-кундатской) свиты. В разрезе древних отложений этот комплекс имеет литологическим составом, а также существенно вулканогенными отложениями. Фосфоритовосность приурочена к енисейской свите ($Сп_2$). Таким образом, фосфоритовосность приурочена к карбонатной надформации с интервалом от верхнего рифея до...

... изменяется в следующих
 ... гор 28,16—34,43; в Кара-
 ... 16,86—37,69; в Джорджи-
 ... держания P_2O_5 отмечаются
 ... а в Хубсугульском бас-
 ... ные колебания.

... в пределах от 30—35 до
 ... кулярное количество в ми-
 ... с присутствием в фосфори-
 ... сторонней примесью, и его
 ... 30—50%. Наиболее богаты
 ... бассейна и бассейна Ска-
 ... ложительную связь с фос-
 ... миями карбонатов, состав-
 ... удах обычно от 2—3 до
 ... держания CO_2 отмечаются
 ... ое содержание характерно
 ... В Скалистых горах и Ка-
 ... держанию CO_2 занимают
 ... рбонатных минералов, в
 ... кристаллическую решетку

... во время фосфатонакоп-
 ... аниях рассеянных элемен-
 ... ыми элементами, которые
 ... ах всех бассейнов в количе-
 ... карбонатных породах, яв-
 ... урана достигают иногда
 ... являться сырьем для его
 ... ых месторождений бассей-
 ... 1960, 1966]. Благодаря вы-
 ... месторождения бассейна
 ... 2]. Повышенной радиоак-
 ... ториты Хубсугульского и
 ... , 1973; Табылдиев К. Т.

... ряд закономерностей, име-
 ... нских и прогнозировании
 ... развитие вокруг них фос-
 ... е первичных ореолов рас-
 ... ов (фтор, радиоактивные
 ...) присутствие в кремни-
 ... ации углеродисто-кремни-
 ... ыми содержаниями вана-
 ... х элементов — молибдена,
 ... нных железом и марган-
 ... нно с продуктивными от-
 ... джина).

Алтае-Саянский фосфоритоносный бассейн пространственно совпадает с одноименной Алтае-Саянской складчатой областью, которая окаймляет с юга и юго-запада протерозойскую Сибирскую платформу. Он относится к каледонскому орогенному поясу и состоит из нескольких складчато-глыбовых структур. В кембро-рифейское время эта область включала внутригеосинклинальные прогибы и поднятия типа срединных массивов. Первые характеризовались значительной подвижностью, быстрым прогибанием и интенсивным вулканизмом (Салаир, Западный Саян, Алтай, Западная Тува), вторые — замедленным прогибанием, относительно слабым вулканизмом и преимущественно карбонатным типом осадконакопления (Горная Шория, Кузнецкий Алатау, Восточный Саян, Восточная Тува). Однако и в пределах последних выделяются троговые зоны, соответствующие, по-видимому, глубинным разломам.

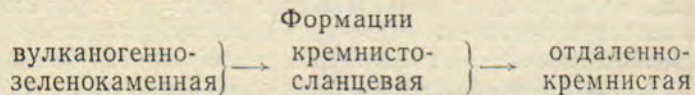
Изучением фосфоритоносности кембро-рифейских отложений Алтае-Саянской складчатой области занимались коллективы сотрудников многих организаций, основные положения проведенных исследований опубликованы в целом ряде работ [Бушинский Г. И., 1966; Еганов Э. А., 1968; Фосфоритоносность..., 1968; Фосфоритоносные..., 1972; Геолого-геохимические особенности..., 1970; и др.].

В Алтае-Саянском бассейне все месторождения и большинство проявлений фосфоритов размещаются в кембро-рифейских отложениях. Фосфатоносность разной интенсивности отмечается почти по всему разрезу, начиная от верхов среднего рифея и включая нижние горизонты нижнего кембрия. При этом во всех случаях фосфоритоносны существенно кремнисто-карбонатные отложения с вариациями от чисто карбонатных до терригенно-кремнисто-карбонатных. Этот комплекс отложений в геотектоническом отношении занимает определенное положение — приурочен к внутригеосинклинальным поднятиям и их склонам. Такая геотектоническая приуроченность комплекса позволяет выделить его в качестве самостоятельной крупной формационной единицы кремнисто-карбонатной надформации, включающей несколько различающихся по вещественному составу формаций.

Отличительным ее признаком является характерный парагенез пород: фосфориты, доломиты, известняки, кремни, кремнистые карбонатные породы, реже кремнисто-глинистые сланцы. К ней относятся отложения енисейской серии верхнего рифея и устькундатской (тамалькской) свиты низов нижнего кембрия. В разрезе древних отложений этот комплекс довольно четко выделяется литологическим составом, а также тем, что подстилается существенно вулканогенными отложениями нижнего — среднего рифея и повсеместно перекрывается археоциатовыми известняками усинской свиты ($Ст_2$). Таким образом, фосфоритоносной кремнисто-карбонатной надформации соответствует стратиграфический интервал от верхнего рифея до низов нижнего кембрия включи-

тельно. Сохранение основных черт парагенеза, наличие генетически однотипных фосфоритов, а также приуроченность к определенным геотектоническим структурам — все это позволяет объединить фосфоритоносные отложения R_3 — $Ст_1$ в единую фосфоритоносную надформацию.

Согласно классификации Н. С. Шатского [1955], в геосинклинальных областях промышленные залежи фосфоритов связаны с отдаленно-кремнистой формацией вулканогенно-кремнистого ряда, который характеризуется следующим строением:



Первые две формации, как указывает Н. С. Шатский, располагаются во внутренних частях геосинклинальных областей (эвгеосинклиналях), третья — во внешних, т. е. в миогеосинклиналях.

Рассматриваемая фосфоритоносная кремнисто-карбонатная надформация (R_3 — $Ст_1$) по набору слагаемых пород, характеру фосфоритоносности и взаимоотношению с вулканогенно-осадочными отложениями соответствует, хотя и не в полной мере, отдаленно-кремнистой формации Н. С. Шатского.

Алтае-Саянский фосфоритоносный бассейн своим особым тектоническим положением в эвгеосинклинальной области существенно отличается от других геосинклинальных фосфоритоносных бассейнов (Скалистые горы, Каратау). Это прежде всего отличия в литологическом составе и мощности фосфоритоносных отложений. В Алтае-Саянском бассейне формация характеризуется значительной мощностью отложений, их слабой дифференцированностью, частым переслаиванием различных типов пород, присутствием эффузивов, слабо выраженной морфологией залежей.

В ряду вулканогенно-кремнистых формаций Н. С. Шатского кремнисто-карбонатная надформация должна, по-видимому, занять место между кремнисто-сланцевой и отдаленно-кремнистой формациями. По литологическому составу в кремнисто-карбонатной надформации можно выделить карбонатную, собственно кремнисто-карбонатную и терригенно-кремнисто-карбонатную формации. Строение, литологический состав, закономерности размещения фосфоритов и перспективы выявления месторождений в этих формациях несколько различны.

Карбонатная фосфоритоносная формация сложена доломитами, известковыми доломитами, реже известняками хемогенного, рифогенного и обломочного происхождения. Мощность формации 350—1000 м, строение довольно однородное. Иногда отмечается чередование пачек карбонатных пород, различающихся по степени фосфатизации, магнизиальности, окраске и структурно-текстурным особенностям. Фосфоритоносные отложения приурочены, как правило, к толщам доломитов, тогда как известняки чаще подстилают или перекрывают их. Водорослевые

карбонатные породы распространены в виде пачек отложений или фашиально залегают. Встречаются пачки окремненных кварцев, явно эпигенетического происхождения, природа его не ясна. Терригенная природа его не ясна. Терригенная природа отсутствует. Фосфориты белые, характеризуются карбонатным составом. На долю фосфоритов приходится 94—99% породы.

Наиболее характерное месторождение размещается в Горах. Это крупный массив площадью 10 км² с массивной структурой выходов. Фосфоритоносная формация Белкинской свиты, сложенная в основном из известняков и брекчиевых известняков, в числе брекчиевых, фосфатизированных карбонатных пород характерна мощностью 350—500 м. Здесь в целом ряд фосфоритоносных скопления первичноосадочного типа. На Белкинском месторождении выделяется фосфоритоносная формация, которая включает фосфориты. Среднее содержание P_2O_5 5—8%.

По структурно-текстурным особенностям дочерних фосфоритов выделяются и слонистые) и брекчиевые, в которых нет принципиальных различий и черные породы массивно образующие минералы преобладают, в незначительном количестве (0,5—5%), графитизированный кварц (до 2%) и взаимно прорастает с такситом, существенно доломитом. Кальцит встречается вторичным минералом.

На Белкинском месторождении разведка. Запасы первичные 8—12% P_2O_5 , составляют 10—15%.

Кремнисто-карбонатная формация в типичном виде встречается в виде пачек. Мощность ее 700—1000 м, строение довольно однородное, содержащими линзами известняков, которые обломочного происхождения. Карбонатных и кремнистых пород приурочены фосфориты. Для фосфоритов этой формации характерна ассоциация с кремнями и т.

парагенеза, наличие генетиче-
такие приуроченность к опреде-
грам — все это позволяет объеди-
R₁—Ст₁ в единую фосфорито-

Шатского [1955], в геосинкли-
е залежи фосфоритов связаны с
вулканогенно-кремнистого ря-
дующим строением:

эции
завсто- } — отдаленно-
девая } кремнистая

казывает Н. С. Шатский, распо-
геосинклинальных областей
внешних, т. е. в миогеосинкли-

носная кремнисто-карбонатная
ору слагаемых пород, характеру
шению с вулканогенно-осадочны-
отя и не в полной мере, отдален-
атского.

ный бассейн своим особым тек-
инклинальной области существен-
инальных фосфоритоносных бас-
). Это прежде всего отличия в
сти фосфоритоносных отложений.
ация характеризуется значитель-
слабой дифференцированностью,
х типов пород, присутствием эф-
ологией залежей.

ых формаций Н. С. Шатского
ация должна, по-видимому, за-
нцевой и отдаленно-кремнистой
у составу в кремнисто-карбонат-
ь карбонатную, собственно крем-
-кремнисто-карбонатную форма-
став, закономерности размеще-
ывления месторождений в этих

тоносная формация сло-
доломитами, реже известняка-
обломочного происхождения.
строение довольно однородное.
ачек карбонатных пород, разли-
нии, магнетиальности, окраске и
тям. Фосфоритоносные отложе-
олщам доломитов, тогда как из-

карбонатные породы распространены в составе фосфоритоносных
отложений или фашиально замещают их по простиранию. Отме-
чаются пачки окремненных карбонатных пород; в одних случаях
кварц явно эпигенетический, в других он сильно регенерирован и
природа его не ясна. Терригенная примесь в карбонатных поро-
дах отсутствует. Фосфориты микрокристаллические и брекчие-
вые, характеризуются карбонатным, существенно доломитовым
составом. На долю фосфата и карбонатных минералов приходит-
ся 94—99% породы.

Наиболее характерное в данной формации Белкинское место-
рождение размещается в Горношорском фосфоритоносном районе.
Это крупный массив площадью около 5000 км², который в совре-
менной структуре вырисовывается как горстообразное поднятие.
Фосфоритоносной формации по составу и объему соответствует
белкинская свита, сложенная доломитами, известняками, в том
числе брекчиевыми, фосфатсодержащими * и фосфоритами. Для
карбонатных пород характерны водорослевые структуры. Мощ-
ность 350—500 м. Здесь выявлены несколько месторождений и
целый ряд фосфоритопроявлений, однако промышленно интерес-
ные скопления первичноосадочных фосфоритов установлены толь-
ко на Белкинском месторождении. В составе белкинской свиты
выделяется фосфоритоносная серия мощностью 100—400 м, кото-
рая включает фосфоритные залежи мощностью от 0,4 до 56 м.
Среднее содержание Р₂О₅ 5—20%.

По структурно-текстурным особенностям среди первично-оса-
дочных фосфоритов выделяются микрокристаллические (массив-
ные и слоистые) и брекчиевые разности, в вещественном составе
которых нет принципиальных различий. Это плотные темно-серые
и черные породы массивного или брекчиевого строения. Породо-
образующие минералы представлены фосфатом, кальцитом и до-
ломитом, в незначительном количестве присутствуют флюорит
(0,5—5%), графитизированное углистое вещество (до 1,5%), хе-
могенный кварц (до 2%) и др. Микрокристаллический фосфат
взаимно прорастает с таким же дисперсным карбонатом, преиму-
щественно доломитом. Кальцит развивается по доломиту и явля-
ется вторичным минералом.

На Белкинском месторождении проведена предварительная
разведка. Запасы первично-осадочных фосфоритов, содержащих
8—12% Р₂О₅, составляют по категориям С₁+С₂ 174 млн. т.

Кремнисто-карбонатная фосфоритоносная
формация в типичном виде распространена на Батеневском
кряже. Мощность ее 700—1800 м, сложена она карбонатными по-
родами, содержащими линзовидные тела черных гематитсодержа-
щих кремней, которые обнаруживают геохимическое сходство с
кремнями вулканогенно-осадочных формаций. Сочетание карбо-
натных и кремнистых пород, развитие черных кремней, к которым
приурочены фосфориты,— таковы отличительные ее особенности.
Для фосфоритов этой формации характерны: постоянная и тесная
связь с кремнями и кремнистым составом, выходящий харак-

... вследствие чего они не об-
... повышенное содержание гема-
... генетических гравелито-зер-
... других формациях бассейна.
... фосфата и кварца (90—98%).
... не образуют промышлен-

... рбонатная фосфори-
... ная по составу. С ней связа-
... рождения в Кузнецком Ала-

... м сложена тремя основными
... нты, известняки), кремнисты-
... кремнисто-глинистыми (крем-
... ультате различных сочетаний
... от породы сложного состава
... ются повышенным содержа-
... ещества, пирита, ванадия, ти-
... тишем. Разрез формации обыч-
... ненно карбонатного и кремни-
... щихся между собой. Фосфо-
... стияков в разрезе (наряду с
... ой формации. В фосфоритных
... строение, фосфориты приуро-

... и.
... т кремнисто-гидрослюдистые
... твом карбонатных пород. Ча-
... углисто-кремнисто-слюдистые
... е фосфоритные пачки. Для
... е карбонатные породы, стра-
... ленные от фосфоритных пла-

... крокристаллические фосфори-
... (переотложенные) разности.
... состава с примесью гидрослю-
... ладание карбонатного мате-
... льными примесями. Кремни-
... ные в приповерхностных ча-
... сбой гипергенно измененные
... ервичноосадочные фосфори-
... обусловлена частым чередо-
... тного, кремнистого и гидро-
... их невысокое качество (9—

... этой формации Тамалык-
... й складке, опрокинутой на
... адают на запад или имеют
... пачка прослеживается в
... 500 1000

... включает несколько (3—4) пластов фосфоритов мощностью 2—
... 10 м и прослежена по простиранию на 6—7 км.

Размещение фосфоритов в Алтае-Саянском бассейне подчиня-
... ется стратиграфическим, геотектоническим, литологическим и
... геохимическим закономерностям, из которых вытекают соответст-
... вующие поисковые предпосылки [Красильникова Н. А. и др.,
... 1975]. Стратиграфические и геотектонические закономерности об-
... щего характера позволяют выделять лишь довольно крупные, воз-
... можно перспективные регионы. Более конкретное применение
... имеют литологические и геохимические закономерности. Однако
... и среди них одни носят общий характер и справедливы для раз-
... ных фосфоритоносных формаций, другие, более частные, приме-
... нимы только для отдельных формаций.

Стратиграфические закономерности. В рассматриваемом бас-
... сейне в качестве основных выделяются два фосфоритоносных го-
... ризонта (стратиграфических интервала): пызасский (верхний ри-
... фей — венд) и тамалыкский (нижний кембрий)¹.

Пызасский фосфоритоносный горизонт главный. Он распола-
... гается в верхней части енисейской серии. В некоторых районах от-
... дельно выделяются вендские отложения (белкинская свита в Гор-
... ной Шории), в других такое расчленение не проводится. Отчасти
... по этой причине по стратиграфическому положению и литологи-
... ческому составу фосфоритоносные отложения в разных районах
... датируются по-разному.

К пызасскому фосфоритоносному горизонту приурочены пер-
... вичноосадочные фосфориты Белкинского, Сейбинского, Саржаков-
... ского и Обладжанского месторождений, а также Боградского,
... Юлишского, Юзекского и других фосфоритопроявлений. Кроме
... того, многочисленные залежи карстовых фосфоритов также при-
... урочены к фосфоритоносным породам этого возраста.

Тамалыкский фосфоритоносный горизонт соответствует тама-
... лыкской свите и усть-кундатскому биостратиграфическому гори-
... зонту (самые низы нижнего кембрия).

Таким образом, наиболее перспективными фосфоритоносными
... стратиграфическими горизонтами являются пызасский и тамалык-
... ский, с которыми связаны все известные фосфоритные месторож-
... дения и наиболее крупные проявления. В пределах этих двух
... стратиграфических интервалов наибольшие концентрации фосфо-
... ритов приурочены к слоям, близко расположенным к границе до-
... кембрия. С удалением от нее интенсивность фосфоритонакпле-
... ния снижается, а рассредоточенность фосфоритов по стратиграфи-
... ческой шкале увеличивается.

Геотектоническая закономерность заключается в приуроченно-
... сти фосфоритных участков в рассматриваемом бассейне к скло-
... нам внутригеосинклинальных поднятий, где формировались фос-
... форитоносные формации.

¹ Названы по наименованию р. Пызасс и Тамалыкского месторождения.

Литологические закономерности. Литологический состав и строение фосфоритоносных отложений являются внешним выражением той геологической обстановки, в которой они формировались. Выделяется несколько литологических особенностей.

1. Существенно карбонатный состав фосфоритоносных толщ. Карбонатные породы представляют собой основную часть фосфоритоносных отложений. Формационная принадлежность месторождения определяет лишь удельный вес карбонатных отложений, значение которых уменьшается в ряду: карбонатная—кремнисто-карбонатная—терригенно-кремнисто-карбонатная формации. Фосфоритоносные карбонатные породы характеризуются серой или темно-серой окраской, обусловленной органическим веществом; сахаровидные яснокристаллические карбонатные породы не фосфоритоносны. Фосфориты в большинстве случаев существенно карбонатные; отмечается тесная ассоциация фосфатного и карбонатного вещества.

2. Рифогенный характер карбонатных пород. Карбонатная формация, широко развитая в Горношорском фосфоритоносном районе, представлена в основном рифогенными породами нередко брекчиевого строения. Фосфориты отлагались на склонах рифовых массивов, обращенных в сторону глубоководных частей бассейна.

3. Связь фосфоритов и фосфатных пород с карбонатными породами доломитового состава. В фосфоритоносных формациях наиболее распространены доломиты и известковые доломиты, а известняки имеют подчиненное значение. В пределах фоссерий фосфориты, как правило, ассоциируются с доломитами.

4. Присутствие кремней и кремнистых пород сложного состава. Повышенная кремнистость в разных формациях количественно и качественно проявляется по-разному. В карбонатной формации лишь иногда отмечаются пачки окремненных карбонатных пород. В кремнисто-карбонатной формации широко распространены линзовидные тела черных кремней мощностью 0,5—100 м, с которыми ассоциируются первичноосадочные фосфориты также кремнистого состава. В терригенно-кремнисто-карбонатной формации фосфоритные пачки подстилаются, а иногда и перекрываются горизонтами черных ванадиеносных глинисто-кремнистых сланцев, тогда как в пределах фосфоритных пачек фтаниты, кремнистые и слюдиристо-кремнистые сланцы пользуются относительно меньшим распространением.

5. Глинистый характер карбонатных пород фосфоритных пачек в терригенно-кремнисто-карбонатной формации. Карбонатные породы, вмещающие фосфоритные пласты, и сами фосфориты содержат повышенное количество глинистого материала, в процессе метаморфизма преобразованного в гидрослюды. Отмечается целая гамма переходных разновидностей: глинистые карбонатные породы, мергели, карбонатно-глинистые сланцы, в той или иной степени кремнистые. Последние две разновидности нередко марганце-

6. Неоднородность литологических слоев или литологической природой фосфоритов. Фосфориты в зависимости от геохимических условий могут проявлять неоднородность в терригенно-кремнисто-карбонатных породах. Фосфоритные, существенно карбонатные пачки подстилаются и перекрываются (сланцевыми). В пределах карбонатных пород и кремней для фосфоритоносных отложений о чем свидетельствует широкое распространение мощных карбонатных пород.

Таким образом, обнаруживаются тесные связи с карбонатными породами и формациями—в кремнисто-карбонатной, терригенно-кремнисто-карбонатной. С литологическими закономерностями тесно связаны и геохимические особенности, отмечающиеся следующие.

1. Наличие первичных ореолов, свидетельствующих о том, что формирование фосфоритов происходит на фоне общего обогащения.

2. Наличие вторичных ореолов над фосфоритными залежами. Их распространением выражены в карбонатной формации, турбируются изолинией с содержанием.

3. Повышенная радиоактивность. Резкое преобладание урана над торием. Фосфориты практически всех месторождений. Активность этой радиоактивности и содержание элементов в фосфоритах очень высокие. Анализ состава ряда факторов. Анализ состава фосфоритов показывает, что при радиоактивности практически отсутствует. Значительная часть во ВНИИЯГГ метода анализа фосфоритов по соотношению U/Th в Алтае-Саянском бассейне радиоактивности, дают аномально высокие значения.

4. Повышенное содержание марганца (до 1—2%), обуславливающее повышенную рудность.

5. Повышенные рудные содержания в терригенно-кремнисто-карбонатных породах стратиграфически вышних фосфоритных залежей, а на некоторых месторождениях располагаются в вышних руд. Повышенное содержание

Литологический состав и являются внешним выражением в которой они формировались особенностей.

В фосфоритоносных толщах основную часть фосфоритов принадлежит местонахождению карбонатных отложений, карбонатная— кремнисто-карбонатная формации. Характеризуются серой органическим веществом карбонатные породы не во всех случаях существенно различия фосфатного и карбо-

натных пород. Карбонатная формация фосфоритоносном породами нередко встречаются на склонах рифтогенных глубоководных частей бас-

сейнов с карбонатными породами фосфоритоносных формациях известковых доломиты, а также в пределах фоссерий с доломитами.

Породы сложного состава формациях количественно. В карбонатной формации кремнистых карбонатных формации широко распространены мощностью 0,5—100 м, дочные фосфориты также кремнисто-карбонатной формации, а иногда и перекрывающихся глинисто-кремнистых пород пачек фтаниты, кремнистые породы пользуются относительно

пород фосфоритных пачек формации. Карбонатные породы, и сами фосфориты состоят из того материала, в процессе формирования. Отмечается цементные карбонатные породы, в той или иной степени неоднородности нередко марганце-

6. Неоднородность литологического состава фосфоритоносных отложений. Фосфориты обычно тяготеют к контактам различных литологических слоев или пачек, что вполне согласуется с химической природой фосфоритов, образующихся при изменении физико-химических условий морского бассейна. Литологическая неоднородность фосфоритоносных отложений наиболее отчетливо проявляется в терригенно-кремнисто-карбонатной формации, где фосфоритные, преимущественно карбонатные или кремнисто-карбонатные пачки подстилаются и перекрываются преимущественно терригенными (сланцевыми). В пределах фосфоритных пачек продуктивные пласты приурочены к контакту известняков и доломитов, карбонатных пород и кремней или глинистых пород.

Для фосфоритоносных отложений характерна мелководность, о чем свидетельствует широкое развитие водорослевых и обломочных карбонатных пород, подводнооползневых структур и др.

Таким образом, обнаруживается четкая ассоциация фосфоритов с карбонатными породами в карбонатной формации, с кремнистыми породами в кремнисто-карбонатной и с кремнистыми мергелями — в терригенно-кремнисто-карбонатной формации.

С литологическими закономерностями размещения фосфоритов тесно связаны и геохимические закономерности. Среди последних отмечаются следующие.

1. Наличие первичных ореолов рассеяния фосфора, свидетельствующих о том, что формирование рудных концентраций происходит на фоне общего обогащения пород фосфором.

2. Наличие вторичных ореолов рассеяния фосфора в почвах над фосфоритными залежами. Ореолы фосфора наилучшим образом выражены в карбонатной формации, где месторождения оконтуриваются изолинией с содержанием 0,1—0,3% Р.

3. Повышенная радиоактивность фосфоритоносных пород и резко преобладание урана над торием. Несмотря на то что фосфориты практически всех месторождений радиоактивны, интенсивность этой радиоактивности и характер связей радиоактивных элементов в фосфоритах очень разнообразны и зависят от целого ряда факторов. Анализ состава радиоактивных элементов в фосфоритах показывает, что при повышенных значениях урана торий практически отсутствует. Это явилось основанием для разработки во ВНИИЯГГ метода гамма-спектрометрических поисков фосфоритов по соотношению U/Th. Некоторые фосфоритные залежи в Алтае-Саянском бассейне, не фиксируемые по суммарной радиоактивности, дают аномальное значение U/Th.

4. Повышенное содержание в породах органического вещества (до 1—2%), обуславливающего их темно-серую окраску.

5. Повышенные рудные концентрации марганца и ванадия в терригенно-кремнисто-карбонатной формации. Пласты марганцевых пород стратиграфически несколько обособлены от фосфоритных залежей, а на некотором удалении от фосфоритных месторождений располагаются промышленные скопления марганцевых пород.

Литологический состав и являются внешним выражением в которой они сформированы. Состав фосфоритноносных толщ собой основную часть местонаходящая принадлежность местонахождения вес карбонатных отложений, ввиду: карбонатная—кремнисто-карбонатная формации. породы характеризуются серой окисленной органическим веществом. Карбонатные породы преобладают в большинстве случаев существенно ассоциация фосфатного и карбо-

натных пород. Карбонатная ассоциация фосфоритноносных пород и известковые доломиты, а также в известковом фосфоритноносном породами нередко отлагались на склонах рифовых глубоководных частей бас-

исных пород с карбонатными фосфоритноносных формациях и известковые доломиты, а также в известковом фосфоритноносном породами нередко отлагались на склонах рифовых глубоководных частей бас-

исных пород сложного состава в известковом фосфоритноносном породами нередко отлагались на склонах рифовых глубоководных частей бас-

исных пород фосфоритных пачек в известковом фосфоритноносном породами нередко отлагались на склонах рифовых глубоководных частей бас-

6. Неоднородность литологического состава фосфоритноносных отложений. Фосфориты обычно тяготеют к контактам различных литологических слоев или пачек, что вполне согласуется с химической природой фосфоритов, образующихся при изменении физико-химических условий морского бассейна. Литологическая неоднородность фосфоритноносных отложений наиболее отчетливо проявляется в терригенно-кремнисто-карбонатной формации, где фосфоритные, существенно карбонатные или кремнисто-карбонатные пачки подстилаются и перекрываются существенно терригенными (сланцевыми). В пределах фосфоритных пачек продуктивные пласты приурочены к контакту известняков и доломитов, карбонатных пород и кремней или глинистых пород.

Для фосфоритноносных отложений характерна мелководность, о чем свидетельствует широкое развитие водорослевых и обломочных карбонатных пород, подводнооползневых структур и др.

Таким образом, обнаруживается четкая ассоциация фосфоритов с карбонатными породами в карбонатной формации, с кремнями—в кремнисто-карбонатной и с кремнистыми мергелями—в терригенно-кремнисто-карбонатной формации.

С литологическими закономерностями размещения фосфоритов тесно связаны и геохимические закономерности. Среди последних отмечаются следующие.

1. Наличие первичных ореолов рассеяния фосфора, свидетельствующих о том, что формирование рудных концентраций происходит на фоне общего обогащения пород фосфором.

2. Наличие вторичных ореолов рассеяния фосфора в почвах над фосфоритными залежами. Ореолы фосфора наилучшим образом выражены в карбонатной формации, где месторождения оконтуриваются изолинией с содержанием 0,1—0,3% P.

3. Повышенная радиоактивность фосфоритноносных пород и резкое преобладание урана над торием. Несмотря на то что фосфориты практически всех месторождений радиоактивны, интенсивность этой радиоактивности и характер связей радиоактивных элементов в фосфоритах очень разнообразны и зависят от целого ряда факторов. Анализ состава радиоактивных элементов в фосфоритах показывает, что при повышенных значениях урана торий практически отсутствует. Это явилось основанием для разработки во ВНИИЯГГс метода гамма-спектрометрических поисков фосфоритов по соотношению U/Th. Некоторые фосфоритные залежи в Алтае-Саянском бассейне, не фиксируемые по суммарной радиоактивности, дают аномальное значение U/Th.

4. Повышенное содержание в породах органического вещества (до 1—2%), обуславливающего их темно-серую окраску.

5. Повышенные рудные концентрации марганца и ванадия в терригенно-кремнисто-карбонатной формации. Пласты марганцевистых пород стратиграфически несколько обособлены от фосфоритных залежей, а на некотором удалении от фосфоритных месторождений располагаются промышленные скопления марганцевых руд. Повышенное содержание ванадия (10 кларков) отме-

линистых сланцев, под-
носных отложениях кар-
распространен на тех
е низкокачественны и
облик, отсутствие чет-
наличие структур
ование флюорита связа-
фосфоритов [Бушин-
х метаморфизмом [Кра-

крупных фосфоритных
ы. Наиболее перспектив-
ормация; фосфоритные
аженной пластовой мор-
ию и в большей степени
кого типа. Из двух дру-
ктивна кремнисто-карбо-
осфоритные тела имеют
ы. Вероятно, в условиях
но менее фосфоритнос-

БАСЕЙНЫ ФОСФОРИТОВЫХ РУД МЕЩЕНИЯ

фориты широко распро-
карбонатной группы на
стоке, в Иране, Афгани-
канском материке во
первичные фосфориты в
омации Хауторн. В об-
оритовых руд среди ка-
Тунис, Сенегал, Того,
приходится 27,5%. До-
той Сахаре, Алжире,
ристые фосфоритовые
ь 28%) и средним
производить обогащение
немов; месторождения
ма благоприятным гео-
открытую разработку.
ых фосфоритовых руд
ны в Сенегале, Того,
ре, Тунисе, в странах

рдании, Ираке, Сау-
нены в пределах тер-
геологическим разви-

тием. Эту огромную территорию, вслед за А. С. Соколовым [1974], можно выделить в качестве Африкано-Аравийской мел-палеогеновой фосфоритоносной провинции.

Африкано-Аравийская фосфоритоносная провинция расположена вдоль западной и северной окраин Африканской платформы и через север Аравийского полуострова, Ирак, Иран, Афганистан протягивается до республик Средней Азии. В пределах этой провинции промышленные месторождения группируются в несколько фосфоритоносных бассейнов: Западно-Сахарский, Марокканский, Алжиро-Тунисский, Египетский и Восточно-Средиземноморский (рис. 7), обособленных пространственно и структурно. Размер их от нескольких сотен до нескольких тысяч квадратных километров. Между этими бассейнами располагаются территории с непромышленными проявлениями фосфоритов. Огромное количество таких проявлений известно, например, на площади, разделяющей Западно-Сахарский и Марокканский бассейны. Между Марокканским и Алжиро-Тунисским бассейнами также встречаются проявления зернистых фосфоритов. Имеются сведения о наличии их в Ливии [Lefeld I., Ubeqna I., 1973] между Египетским и Алжиро-Тунисским бассейнами. Фосфоритоносные отложения Египетского бассейна трассируются серией проявлений в северо-восточном направлении на Синайский полуостров, после которых на юге Израиля, в пустыне Негев вновь появляются промышленные месторождения.

Таким образом, фосфоритоносные отложения в Африкано-Аравийской провинции почти непрерывно прослеживаются, начиная от западной территории Северной Африки до складчатых сооружений Центральной Азии.

Западно-Сахарский бассейн

Этот бассейн протягивается полосой с севера на юг на 2000 км вдоль побережья Атлантического океана (см. рис. 7). В нем расположено крупнейшее месторождение Африканского континента — Бу-Краа в Западной Сахаре. По данным В. И. Покрышкина и С. С. Прокофьева [1974], фосфориты и фосфоритовые руды приурочены здесь к терригенно-кремнисто-карбонатной формации нижнего палеоцена. Разведанные запасы фосфоритовых руд насчитывают 3,3 млрд. т, а прогнозные оцениваются в 10 млрд. т при среднем содержании P_2O_5 30—32%. Помимо Бу-Краа в бассейне известны и другие месторождения, расположенные южнее — в Мавритании, Сенегале и в других странах (табл. 13).

Месторождение Бу-Краа находится на севере бассейна, в 100 км к юго-востоку от г. Аюн и в 90 км от берега Атлантического океана. Район месторождения сложен отложениями верхнего мела (глины, мергели), нижнего палеоцена мощностью 12—27 м (фосфориты, кремни, песчанистые и кремнистые глины, алсвролиты), верхнего палеоцена мощностью 10—40 м (кремни и глины) и неоген-четвертичными конгломератами (рис. 8, 9). Сре-

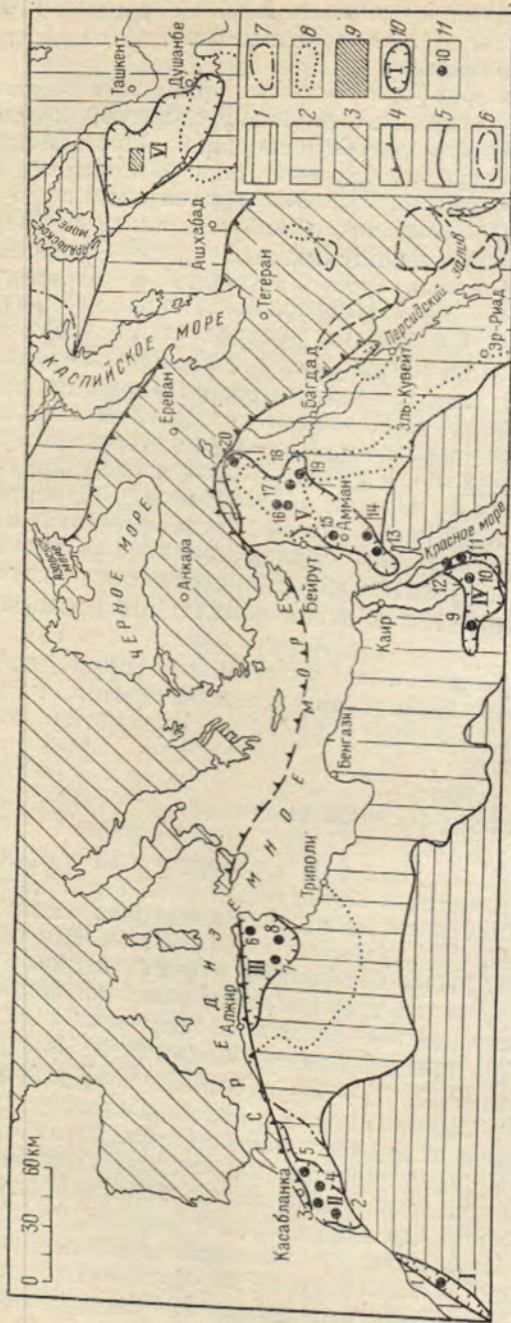


Рис. 7. Схематическая карта размещения фосфоритовых бассейнов Африкано-Аравийской провинции. Составлена с использованием материалов В. П. Полицарова и др. [Тектоника..., 1964], Ю. А. Шубера, А. Фор-Мюре и др. [1967, 1973], В. Е. Хайна [1971].

1 — устойчивая часть платформ; 2 — действующая (прогибающаяся) часть платформ; 3 — геосинклинальная область; 4 — границы платформ и геосинклинали; 5 — границы прогибающихся и устойчивых частей платформ; 6-8 — площади распространения эвапоритов.

6 — кембрия, 7 — перм-триаса, 8 — юры; 9 — перспективная площадь на зернистые фосфоритовые руды в Средней Азии; 10 — фосфоритовые бассейны: I — Западно-Сахарский, II — Марокканский, III — Алжиро-Тунисский, IV — Египетский, V — Восточно-Средиземноморский, VI — Среднеазиатский; 11 — месторождения фосфоритовых руд: 1 — Бу-Краа, 2 — Мескала, 3 — Юсебрия, 4 — Бен-Герир, 5 — Хурриба, 6 — Калад-Джерат, 7 — Джебель-Онк, 8 — Гафса, 9 — Абу-Тартур, 10 — Эль-Махамид, 11 — Кусейр, 12 — Сафа-та, 13 — Орош, 14 — Эль-Хаси, 15 — Руссейф, 16 — Кнеифис, 17 — Восточное, 18 — Хоари, 19 — Акашат, 20 — Мардад

Характеристика свитов Западно-Синайского бассейна

Месторождение (возраст Pg_2^3)	Сила прогибательная	Власть
Каеди	1	1
Таиба	2	1
Тиес	2	1
Бу-Краа	2	1

ди нижнепалеоценовых фосфоритовых руд. Два пласта фосфоритовых руд мощностью 4-6 м. Мощность эксплуатируемого пласта 4,5-6 м. Содержание P_2O_5 в них соответственно 23,24%. В южном направлении фосфоритовые руды мелкими псевдоолитового строения, состоящими из фосфоритовых пород. Отмечается тесная парагенетическая связь фосфоритовых пород (песчаных, осевых частях конседиментационного типа, влечет за собой уменьшение содержания фосфора, а также фациальное замещение желваковыми, которые не имеют палеокарбонатов). В южной части бассейна, на территории нескольких месторождений и массивов фосфоритов рассматриваемого типа, мощностью 150x150 км вблизи Атлантического океана (из них Таиба с запасами около 100 млн т, а также доменная добыча 1,8-2 млн т). В связи с этим проведенного к синклинали северо-восточной части почти недислоцированные осадочные породы (Fessier F., 1971; Brancart M., Fessier F., Priou J., 1974).

В основании разреза выделяется свит глинистых глин, мергелей, известняков с прослоями маастрихт-нижнеоценового возраста. Они дают аттапульгитовые глины так же, как и Лам, насыщенные конкрециями кремнезема.

Характеристика главнейших месторождений Западно-Сахарского бассейна

Месторождение (возраст Pg_2^2)	Число продуктивных пластов	Мощность пластов, м	Содержание P_2O_5 , %	Общие запасы: в числителе — руды, в знаменателе — P_2O_5 , млн. т
Каеди	2	0,5—2,0	27—28,1	Нет свед.
Таиба	2	0,5—1,5	23—27,0	$\frac{100}{27,0}$
Тнес	2	0,5—1,5	25—31,1	$\frac{100}{30,0}$
Бу-Краа	2	0,5—6,0	15,0—34,5	$\frac{10\,000}{2500}$

ди нижнепалеоценовых фосфоритоносных отложений установлено два пласта фосфоритовых руд, разделенных кремнистыми породами мощностью 4—6 м. Мощность верхнего продуктивного и эксплуатируемого пласта 4,5—6 м, нижнего — 0,5—4 м. Содержание P_2O_5 в них соответственно равны 26,04—34,52% и 15,02—23,24%. В южном направлении пласты выклиниваются. Сложны фосфоритовые руды мелкими (1—3 мм) зернами оолитового и псевдооолитового строения, состоящими из фторкарбонатапатита. Отмечается тесная парагенетическая связь руд с кремнистыми породами [Покрышкин В. Н., Прокофьев С. С., 1974]. Увеличение терригенных пород (песчаников, глин), обычно наблюдаемое в осевых частях конседиментационных структур антиклинального типа, влечет за собой уменьшение мощности и качества фосфоритов, а также фациальное замещение зернистых фосфоритовых руд желваковыми, которые не имеют промышленного значения.

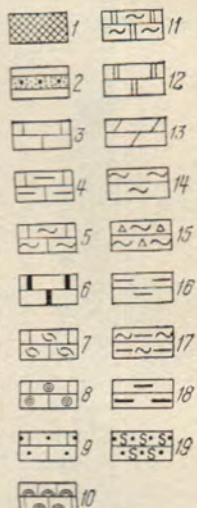
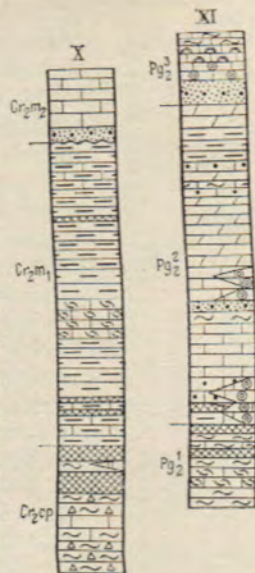
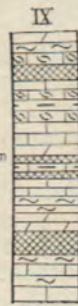
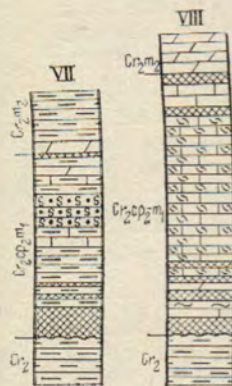
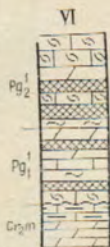
В южной части бассейна, на территории Сенегала, известно несколько месторождений и многочисленные проявления фосфоритов рассматриваемого типа, которые сосредоточены на площади 150×150 км вблизи Атлантического побережья. Наиболее крупное из них Таиба с запасами около 100 млн. т разрабатывается (годовая добыча 1,8—2 млн. т). В строении месторождения, приуроченного к синклинали северо-восточного простирания, участвуют почти недислоцированные осадочные отложения [Flicoteaux R., Fessier F., 1971; Brancart M., Flicoteaux R., 1971; Testut R. S., Priou J., 1974].

В основании разреза выделяется мощная (до 1000 м) толща глин, мергелей, известняков с прослоями песчаников и конгломератов маастрихт-нижнеоценового возраста. В ее кровле преобладают аттапульгитовые глины так называемого горизонта Лам-Лам, насыщенные конкрециями кремней и фосфатным органоменом зернистым.

Рис. 7. Схематическая карта размещения фосфоритоносных бассейнов Африкано-Аравийской провинции. Составлена с использованием материалов В. П. Поникарова и др. Тектоника... [1967, 1973]; В. Е. Ханна [1971].

1 — устойчивая часть платформ; 2 — действенная (прогибающаяся) часть платформ; 3 — геосинклинальная область; 4 — границы платформ и геосинклиналей; 5 — границы приближающихся и устойчивых частей платформ; 6—8 — площади распространения залегоритов.

6 — кембрия, 7 — пермо-триаса, 8 — юры, 9 — персептивная площадь на вершине фосфоритовые руды в Средней Азии; 10 — фосфоритоносные бассейны: I — Западно-Сахарский, II — Марокканский, III — Алжиро-Тунисский, IV — Египетский, V — Восточно-Средиземноморский, VI — Средиземноморский; 11 — месторождения фосфоритовых руд: 1 — Бу-Краа, 2 — Мескала, 3 — Юссуфия, 4 — Бен-Герир, 5 — Хурйоба, 6 — Калаа-Джераа, 7 — Джебель-Онк, 8 — Гафа, 9 — Абу-Гаргур, 10 — Эль-Махамид, 11 — Кусейр, 12 — Сафага, 13 — Орон, 14 — Эль-Хаса, 15 — Русейфа, 16 — Кнейфис, 17 — Восточное, 18 — Хбари, 19 — Акашат, 20 — Мардиди



Месторождения: I — Хахоте; II — Бу-Краа; III — Бен-Герир; IV — Хурибга; V — Джебель-Онк; VI — Гафса (группа месторождений — Редейф, Моуларес, Мдилла, Метлауи, Сехиб Кеф эс Шваир); VII — Абу-Тартур; VIII — Кусейр (группа месторождений — Абу-Тундуб, Дуви, Накхейн и др.); IX — Эль-Хаса; X — Кнейфис; XI — Хбари.

1 — зернистые фосфориты; 2 — желваковые фосфориты с глауконитом; 3—11 — известняки: 3 — чистые известняки, 4 — глинистые, 5 — кремнистые, 6 — доломитистые, 7 — устричные, 8 — пуммулитовые, 9 — песчаные, 10 — водорослевые, 11 — кремнисто-доломитовые; 12 — доломиты; 13 — мергели; 14 — кремнистые породы; 15 — кремнистые брекчи; 16 — глины; 17 — кремнистые глины; 18 — аттапульгитовые глины; 19 — фосфатные глауконитовые песчаники

ются «латеритоидными» алюмофосфатными образованиями с содержанием (в %): P_2O_5 25,0—31,1; Al_2O_3 23,6—27,4; Fe_2O_3 4,8—12,7; CaO 8,7—10,0; TiO_2 1,9—2,4; SiO_2 2,8—10,7. Мощность их 12—18 м. В этих вторичных фосфоритах встречаются реликты первичноосадочных зернистых фосфоритов. Образование «латеритоидных фосфоритов» связывается с неогеновой фазой выветривания в условиях влажного климата [Flicoteaux R., Fessier F., 1971]. Вторичные алюмофосфатные руды месторождения Тнес разрабатываются и обогащаются с получением фосфатного концентрата («фосфаль»), содержащего (в %): P_2O_5 34,6; Al_2O_3 35,9; CaO 10,9; Fe_2O_3 9,1; SiO_2 2,9; TiO_2 1,9; MgO 0,3; п. п. п. 4,4.

В тектоническом отношении Западно-Сахарский бассейн расположен в зоне перикратонных погружений Африкано-Аравийской платформы [Хани В. Е., 1971], на юго-западном продолжении синеклизы Тиндиф. При этом отдельные месторождения и проявления локализируются на склонах конседиментационных структур более мелкого порядка, в частности на пологих крыльях брахисинклиальных складок [Alia Medina M., 1971; Покрышкин В. И., Прокофьев С. С., 1974].

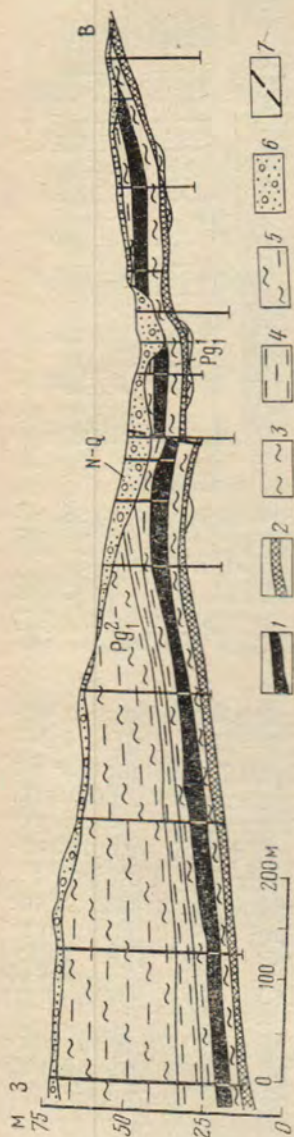


Рис. 9. Геологический разрез месторождения Бу-Краа.
1 — продуктивный пласт зернистых фосфоритовых руд (P_2O_5 26—34,5%); 2 — гипсовый пласт (P_2O_5 15—23,2%); 3 — кремнистые породы; 4 — гипсы; 5 — глинисто-кремнистые породы; 6 — рахале образований; 7 — тектоническое нарушение

Фосфориты образовывались в период относительно стабильного тектонического режима, на фоне погружения платформенного склона, сопровождавшегося трансгрессией моря, особенно активно проявившейся в палеоцене (Западная Сахара) и среднем эоцене (Сенгал). Состав фосфоритов и вмещающих отложений, тектурно-структурные их особенности и наличие многочисленных костных окаменелостей позвоночных свидетельствуют о накоплении их в заливах на мелководном шельфе эпиконтинентального моря, связанного с Атлантическим океаном. Формирование и накопление зернистых фосфоритовых руд происходили в условиях частых донных перемылов. Климат в это время был преимущественно аридным. Воздымание большей части площади бассейна, начавшееся в верхнем эоцене—олигоцене, обусловило регрессию моря и латеритизацию среднеэоценовых фосфоритов Сенегала в течение миоцена и плиоцена.

Марокканский бассейн

Марокканский бассейн площадью 400×100 км располагается на юго-западе Марокко (см. рис. 7) в западной части Атласской складчатой области. Бассейн протягивается в субширотном направлении, охватывая юг Марокканской Мезетты и север Высокого Атласа [Salvan H., 1960; Покрышкин В. И., 1970]. На территории Марокканского бассейна с юга на север выделяются следующие районы: 1) Бикрит-Тимхадит; 2) Шишауа-Иман-Танаут; 3) Мескала-Могадор; 4) Ганитур; 5) Улед-Абдун. По данным К. Арамбура [Arambourg C., 1952] и Г. Сальвана [Salvan H., 1960], наиболее крупные месторождения локализованы в районах Ганитур и Улед-Абдун (табл. 14). Запасы фосфоритовых руд бассейна 40 млрд. т

Характеристика главных месторождений фосфоритов [Salvan H., 1960; Argall G. O., 1968]

Месторождение (возраст)	Число продуктивных пластов руд	Средняя мощность пластов, м
Мескала ($Cr_2^6-Pg_{1-2}$)	Несколько	10—25
Юсуфия ($Cr_2^6-Pg_{1-2}$)	3	10—25
Бен-Герир ($Cr_2^6-Pg_{1-2}$)	6	10—25
Хурибга ($Cr_2^6-Pg_2^1$)	6	10—25
Тадла (Pg_2^1)	3	10—25
Эль-Борудж ($Cr_2^6-Pg_2$)	6	10—25

[Argall G. O., 1968]; общий объем 20 млн. т.

Район Ганитур представляет центральную часть бассейна. Фосфоритовые отложения, залегающие в этом районе здесь с запада на восток на месторождения этого района Юсуфия [Argall G. O., 1968].

Основание разреза на этих месторождениях сложено известняками кампанского яруса и гипсовыми породами, трансгрессивно залегающими на границе с известняками сеноманского яруса и Джебилет. На кампанских отложениях залегает фосфоритоносный горизонт мощностью 10—25 м, сложенный пластиками фосфоритовых руд, перемежающихся с известняками, мергелями и глинистыми породами. На месторождениях нижнего палеоцена (миоценового) выделенный пласт фосфоритовых руд мощностью 10—25 м, содержащий в среднем содержанием P_2O_5 около 32%.

Пласты фосфоритовых руд выделены также в кремнисто-карбонатных известняках (танетский ярус) и нижнего эоцена. Эти пласты отличаются весьма изменчивым составом фосфоритовых руд и считаются на месторождениях промышленными. Фосфоритоносные пласты перекрываются в основном известняками, мергелями и гипсовыми породами, представленными ракушечниковыми и окремненными мергелями и кремнистыми известняками.

Характеристика главных месторождений Марокканского бассейна
[Salvan H., 1960; Argall G. O., 1968]

Месторождение (возраст)	Число продуктивных пластов руд	Мощность пластов, м	Содержа- ние P_2O_5 , %	Общие запасы: в числителе — руды, в знаменателе — P_2O_5 , млн. т
Мескала ($Cr_2^6-Pg_{1-2}$)	Несколько	0,2—4	31	Нет свед. 7000
Юссуфия ($Cr_2^6-Pg_{1-2}$)	3	0,8—3	32	1920
Бен-Герир ($Cr_2^6-Pg_{1-2}$)	6	1,8—3	31	900 279
Хурибга ($Cr_2^6-Pg_2^1$)	6	1—9	25—32	32000 9600
Тадла (Pg_2^1)	3	0,3—0,9	32,8	Нет свед.
Эль-Борудж ($Cr_2^6-Pg_2$)	6	1—2,4	30	-

[Argall G. O., 1968]; общий объем добычи в 1974 г. более 20 млн. т.

Район Гантур представляет собой плато, расположенное в центральной части бассейна. Фосфоритоносные маастрихт-эоценовые отложения, залегающие полого или горизонтально, прослеживаются здесь с запада на восток на 110 км. Наиболее крупные месторождения этого района Юссуфия и Бен-Герир [Argall G. O., 1968].

Основание разреза на этих месторождениях сложено мергелями и известняками кампанского яруса мощностью до 40—45 м, трансгрессивно залегающими на гранитах герцинских массивов Рехамна и Джебилет. На кампанских отложениях согласно залегают фосфоритоносный горизонт маастрихтского яруса мощностью 10—25 м, сложенный пластами фосфоритовых руд, переслаивающихся с известняками, мергелями, карбонатными глинами и кремнистыми породами. На месторождении Юссуфия в вышележащих отложениях нижнего палеоцена (монтский ярус) выделяется промышленный пласт фосфоритовых руд мощностью 0,8—8 м с содержанием P_2O_5 около 32%.

Пласты фосфоритовых руд мощностью до 1—1,5 м встречаются также в кремнисто-карбонатных отложениях верхнего палеоцена (тапетский ярус) и нижнего эоцена (ипрский ярус). Однако эти пласты отличаются весьма изменчивыми мощностью и качеством фосфоритовых руд и считаются на месторождении Юссуфия непромышленными. Фосфоритоносные отложения нижнего эоцена согласно перекрыты породами лютетского яруса среднего эоцена, представленными ракушняковыми известняками, фосфатными окремненными мергелями и кремнями. Мощность их 25—30 м

зовывались в пе-
стабильного тек-
а, на фоне погру-
ного склона, сопро-
ангрессией моря,
проявившейся в па-
Сахара) и сред-
ал). Состав фосфо-
их отложений, тек-
их особенности и
сленных костных
звоночных свиде-
плении их в зали-
м шельфе эпикон-
я, связанного с Ат-
ом. Формирование
нистых фосфорито-
ли в условиях час-
ывов. Климат в это
щественно аридным.
ей части площади
еся в верхнем эоце-
условило регрессию
ацию среднеэоцено-
Сенегала в течение
а.

ский бассейн

бассейн площадью
лагается на юго-за-
рис. 7) в западной
кладчатой области.
ется в субширотном
тивная юг Марок-
север Высокого Ат-
1960; Покрыш-
На территории Ма-
йна с юга на север
дующие районы:
дит; 2) Шишауа-
Мескала-Мога-
5) Улед-Абдун. По-
ура [Agambourg S.,
ьвана [Salvan H.,
рупные месторожде-
в районах Гантур
л. 14). Запасы фос-
сейна 40 млрд. т

Второе месторождение района Бен-Герир расположено в 70 км от Юсуфини. На Бен-Герире установлено шесть продуктивных пластов фосфоритовых руд: три в отложениях маастрихта, один монтеского и два ипрского ярусов (см. рис. 8). Фосфоритовые руды залегают среди известняков, доломитовых мергелей и кремней. Содержание P_2O_5 в них 27—30%.

На юг от плато Ганитур фосфоритоносные отложения прослеживаются в районах Шишауа-Иман-Танаут и Мескала-Могадор. В этих районах среди маастрихтских и палеоген-эоценовых кремнисто-карбонатных образований (кремней, мергелей и кремнистых известняков) установлено до четырех пластов зернистых фосфоритовых руд мощностью от 0,24 до 4 м, содержащих до 30% P_2O_5 . Перекрывающие отложения лютетского яруса представлены известняками. Эта южная часть района бассейна рассматривается как перспективная для выявления промышленных месторождений.

На самом севере Марокканского бассейна расположен район Улад-Абдун (фосфатное плато), где известны крупные, сходные по строению месторождения: Хурибга, Эль-Борудж и др. [Salvan H., 1960]. Здесь на сланцах готландия и кварцитах карадокского яруса с угловым несогласием залегают мергели, известняки и красноцветные песчаники мелового возраста. Мощность этих отложений до 200 м. На них лежат сеноманские и туронские мергели и известняки общей мощностью около 100 м. Пласты зернистых фосфоритовых руд приурочены к маастрихт-эоценовым отложениям (15—20 м), представленным известняками.

На месторождении Хурибга (см. рис. 8) установлено от трех до четырех пластов фосфоритовых руд, из которых эксплуатируются лишь два верхних. Среди маастрихт-датских известняков и мергелей располагается нижний пласт мощностью 1—3 м, содержащий 23—27% P_2O_5 ; выше, в кремнисто-мергелистой толще танетского яруса верхнего палеоцена залегают второй пласт мощностью до 9 м (обычно 1—2,3 м) с содержанием P_2O_5 27—32%. Первый разрабатываемый пласт фосфоритовых руд мощностью 1,5—3 м приурочен к основанию кремнисто-карбонатного горизонта ипрского яруса мощностью 10—72 м. Он сложен зернистыми фосфоритовыми рудами, содержащими стяжения кремней. В верхней части разреза залегают второй продуктивный пласт зернистых фосфоритовых руд мощностью 1—2 м с содержанием P_2O_5 до 32%.

На месторождении Эль-Борудж пласты фосфоритовых руд расположены среди мергелей, известняков и кремней ипрского яруса. Мощность их 1—3 м, а содержание P_2O_5 достигает 34—35%. На обоих месторождениях фосфоритоносный горизонт перекрыт ракушняковыми известняками и мергелями лютетского яруса («терсититовый» горизонт по Salvan H., 1960) мощностью 14—15 м.

Фосфориты и фосфоритовые руды Марокканского бассейна состоят на 40—70% из слабосцементированных фосфатных зерен размером 0,1—2, чаще 0,1—0,125 мм с примесью фосфатных ооли-

тов. В зернах и оолитах встречаются скелеты радиолярий, фораминифер, фосфатные копролиты размером ломки костей рыб и рептилий, или пропластки костяных брекчий, залегающих в маастрихтских отложениях Мескала). Цемент в фосфоритах доломитом и кремнеземом. На выщелачивается, и фосфориты превращаются в зоны окисления фосфоритовые руд, обогащенные наличием органического вещества. В зоне окисления вследствие окисления серы и сульфидов они светлеют и окраску.

Фосфориты бассейна, наряду с особенно на месторождении Хурибга (52%), характеризуются окисленными (например, в рудах Бен-Герира и параллельное увеличение содержания фосфора в рудах Марокко связано с включением в состав фосфатного вещества, отчасти фторкарбоната патиты. В рудах наблюдается заглупованность фосфоритовых руд.

По тектоническому положению Марокканский бассейн расположен в западной части Африканской области, примыкающей к Африканской территории представляет собой складчатый фундамент, перекрытый дочным чехлом, включающим сланцы, известняки и мергели. Фосфоритоносные отложения маастрихта (1955; Покрышкин В. И., 1970). Марокканских руд локализованы в определенных структурах, преимущественно в западной части. Эта область Африканского континента располагалась на склоне Африканского континента, который испытывал медленные движения. [Основные черты..., 1974]. Однако, обусловившим исключительно определенное развитие, был спокойный тектонический режим, развивавшийся в процессе мелкого мелководного моря на северо-западе континента, что привело к возрастанию температуры и влажности в широтном и меридиональном направлении. В это время был аридный.

Алжиро-Тунисский

Алжиро-Тунисский бассейн расположен на северо-западе континента. Вытянут в широтном направлении на расстояние около 1000 км (см. рис. 7). В бассейне

тов. В зернах и оолитах встречаются включения кварца, циркона, скелеты радиолярий, фораминифер и диатомей. Часто отмечаются фосфатные копролиты размером до 1,25 см в поперечнике, обломки костей рыб и рептилий, иногда образующие обособленные пропластки костяных брекчий, которые особенно часто встречаются в маастрихтских отложениях на юге бассейна (районы Сус, Мескала). Цемент в фосфоритах представлен кальцитом, реже доломитом и кремнеземом. На поверхности цемент обычно разрушается, и фосфориты превращаются в фосфоритный песок. Ниже зоны окисления фосфоритовые руды имеют черный цвет, обусловленный наличием органического вещества и тонкорассеянного пирита. В зоне окисления вследствие окисления органического вещества и сульфидов они светлеют и приобретают белесую окраску.

Фосфориты бассейна, наряду с повышенной карбонатностью, особенно на месторождениях Хурибга и Эль-Борудж (СаО до 50—52%), характеризуются относительно высоким содержанием SO_3 (например, в рудах Бен-Герира и Юссуфии до 1,5%). Вероятно, параллельное увеличение содержания P_2O_5 и SO_3 в фосфоритовых рудах Марокко связано с вхождением последнего компонента в состав фосфатного вещества, относимого к сульфатсодержащему фторкарбонатапатиту. В ряде разрезов отмечается вторичная загипсованность фосфоритоносных отложений.

По тектоническому положению Марокканский фосфоритоносный бассейн расположен в западной части Атласской складчатой области, примыкающей к Африкано-Аравийской платформе. Эта территория представляет собой эпигерцинскую платформу с палеозойским складчатым фундаментом и мезо-кайнозойским осадочным чехлом, включающим слегка дислоцированные фосфоритоносные отложения маастрихта — палеогена [Шатский Н. С., 1955; Покрышкин В. И., 1970]. Месторождения зернистых фосфоритовых руд локализованы в унаследованных конседиментационных структурах, преимущественно в синклиналих прогибах. Эта область Африканского континента в мел-палеогеновое время располагалась на склоне Африкано-Аравийской платформы, который испытывал медленные дифференцированные опускания [Основные черты..., 1974]. Одним из благоприятных факторов, обусловившим исключительно огромные масштабы фосфоритообразования, был спокойный тектонический режим. Фосфориты образовывались в процессе мел-палеогеновой трансгрессии теплого мелководного моря на северо-западный склон Африканского континента, что привело к возрастному скольжению зон фосфатонакопления в широтном и меридиональном направлениях. Климат в это время был аридный.

Алжиро-Тунисский бассейн

Алжиро-Тунисский бассейн расположен на севере Африканского континента. Вытянут в широтном направлении на расстояние

сположено в 70 км
ть продуктивных
маастрихта, один
осфоритовые руды
гелей и кремней.

отложения просле-
Мескала-Могадор.
н-эоценовых крем-
гелей и кремни-
ластов зернистых
содержащих до 30%
яруса представле-
ейна рассматрива-
ленных месторож-

расположен район
крупные, сходные
удж и др. [Sal-
варцитах карадок-
мергели, известня-
та. Мощность этих
е и туронские мер-
м. Пласты зерни-
ихт-эоценовым от-
ками.

тановлено от трех
орых эксплуатиру-
ких известняков и
стью 1—3 м, содер-
елистой толще та-
торой пласт мощ-
ем P_2O_5 27—32%.
х руд мощностью
бонатного горизон-
пожен зернистыми
а кремней. В верх-
й пласт зернистых
ржаннем P_2O_5 до

оритовых руд рас-
й ипрского яруса.
гает 34—35%. На
онт перекрыт ра-
кого яруса («тер-
стью 14—15 м.

кого бассейна со-
осфатных зерен
осфатных осад-

тов. В зернах и оолитах встречаются включения кварца, циркона, скелеты радиолярий, фораминифер и диатомей. Часто отмечают фосфатные копролиты размером до 1,25 см в поперечнике, обломки костей рыб и рептилий, иногда образующие обособленные пропластки костяных брекчий, которые особенно часто встречаются в маастрихтских отложениях на юге бассейна (районы Сус, Мескала). Цемент в фосфоритах представлен кальцитом, реже доломитом и кремнеземом. На поверхности цемент обычно разрушается, и фосфориты превращаются в фосфоритный песок. Ниже зоны окисления фосфоритовые руды имеют черный цвет, обусловленный наличием органического вещества и тонкорассеянного пирита. В зоне окисления вследствие окисления органического вещества и сульфидов они светлеют и приобретают белесую окраску.

Фосфориты бассейна, наряду с повышенной карбонатностью, особенно на месторождениях Хурибга и Эль-Борудж (CaO до 50—52%), характеризуются относительно высоким содержанием SO_3 (например, в рудах Бен-Герира и Юсуфии до 1,5%). Вероятно, параллельное увеличение содержания P_2O_5 и SO_3 в фосфоритовых рудах Марокко связано с вхождением последнего компонента в состав фосфатного вещества, относимого к сульфатсодержащему фторкарбонатапатиту. В ряде разрезов отмечается вторичная заглипсованность фосфоритоносных отложений.

По тектоническому положению Марокканский фосфоритоносный бассейн расположен в западной части Атласской складчатой области, примыкающей к Африкано-Аравийской платформе. Эта территория представляет собой эпигерцинскую платформу с палеозойским складчатым фундаментом и мезо-кайнозойским осадочным чехлом, включающим слегка дислоцированные фосфоритоносные отложения маастрихта — палеогена [Шатский Н. С., 1955; Покрышкин В. И., 1970]. Месторождения зернистых фосфоритовых руд локализованы в унаследованных конседиментационных структурах, преимущественно в синклиналильных прогибах. Эта область Африканского континента в мел-палеогеновое время располагалась на склоне Африкано-Аравийской платформы, который испытывал медленные дифференцированные опускания [Основные черты..., 1974]. Одним из благоприятных факторов, обусловившим исключительно огромные масштабы фосфоритообразования, был спокойный тектонический режим. Фосфориты образовывались в процессе мел-палеогеновой трансгрессии теплого мелководного моря на северо-западный склон Африканского континента, что привело к возрастному скоплению зон фосфатонакопления в широтном и меридиональном направлениях. Климат в это время был аридный.

Алжиро-Тунисский бассейн

Алжиро-Тунисский бассейн расположен на севере Африканско-го континента. Вытянут в широтном

Таблица 15

Фосфоритоносные районы и месторождения Алжиро-Тунисского бассейна
[Visse L., 1952; Saint-Gulhem K., 1960; Tunisian..., 1975]

Район, месторождение (возраст)	Число продуктивных пластов руд	Мощность пластов, м	Содержание P_2O_5 , %	Общие запасы (в числителе — руды, в знаменателе — P_2O_5), млн. т
--------------------------------	--------------------------------	---------------------	-------------------------	--

Район Сетиф-Табесса

Ребиба ($Pg_1-Pg_2^1$)	2	2,6—5	27	$\frac{140}{37,8}$
Калаа-Джерда ($Pg_1^2-Pg_2^1$)	2	2,5—3,5	26,30	$\frac{30}{9}$
Сал-Сала ($Pg_1^2-Pg_2^1$)	3	1,5—2	21—27	$\frac{350}{94,5}$
Кеф-Слугуи ($Pg_1^2-Pg_2^1$)	4	Общая 13	12—26	$\frac{1500}{390}$
Сра-Уэртане ($Pg_1^2-Pg_2^1$)	До 18	0,1—2	11—25	$\frac{4000}{1000}$
Шакетма ($Pg_1^2-Pg_2^1$)	4	Общая 14,7	23—27	$\frac{100}{27}$
Куиф ($Pg_1^2-Pg_2^1$)	2	Общая 3	27—30	$\frac{17}{5,1}$
Дир ($Pg_1^2-Pg_2^1$)	3	Общая 3	23—31	$\frac{15}{4,6}$
М'Зайта (Pg_2^1)	7—8	0,3—1,8	18—30	$\frac{300}{100}$

Район Джебель-Онк — Гафса

Джебель-Онк (Pg_1^2)	5	1,5—3,3	25—32	$\frac{800}{256}$
Моуларес (Pg_2^1)	4	0,5—6	30,6	$\frac{12\ 000}{3600}$
Мехери-Цеббеус (Pg_2^1)	2	0,8—2	25—28	$\frac{30}{8,4}$
Абдалла (Pg_2^1)	3	Общая 5,2	25,5—27,5	$\frac{150}{41,2}$
Цеббеус-Дуара (Pg_2^1)	Несколько	0,1—1,5	12,0—25	$\frac{100}{25}$

ных отложениях сенона — нежелезистые фосфоритоносные отложения терригенно-карбонатной формации верхнего палеогена мощностью 20—90 м. В бассейне выделены фосфоритоносные районы (табл. 15) — Сетиф-Табесса, Джебель-Онк — Гафса [Kup D., 1960]. Вторым, второй — к южным склонам Атласа. Эксплуатируемое месторождение Сетиф более типично для северного района. Здесь лежат кремнисто-карбонатные отложения, которые на дат-нижневеллеке покрываются нуммулитовыми известняками [Visse L., 1952; Saint-Gulhem K., 1960]. В Сетифе зона, имеющего мощность около 3—5 м и содержание P_2O_5 до 30%. В тунисских месторождениях, например в Сетифе, 18 пластов зернистых фосфоритов, содержащих P_2O_5 и характеризующихся известняками так и по составу. Отдельные пласты лежат в средней части горизонта и содержат фосфориты.

В строении месторождения Джебель-Онк — Гафса выделяют отложения танетского яруса (снизу вверх):

1. Мергели и известняки слабофосфоритовые
2. Фосфоритовая пачка с четырьмя пластами (18,3% P_2O_5)
3. Фосфориты желваковые
4. Фосфоритовые руды зернистые
5. Кремни
6. Фосфоритовые руды зернистые
7. Известняки
8. Фосфоритовые руды зернистые
9. Фосфориты желваковые (7,5% P_2O_5)

Сходным геологическим строением обладают месторождения района Сетиф-Табесса. В месторождении Сетиф-Табесса отработаны продолжительное время месторождение М'Зайта и месторождение Сетиф. Фосфоритоносный горизонт в Сетифе и известняками, чередующимися с фосфоритовыми (0,1—2 м) высококремнистых фосфоритовых руд, содержащих 23—29% P_2O_5 .

Месторождения района Джебель-Онк — Гафса расположены на юго-востоке бассейна. Здесь работают крупные месторождения Моуларес, Метлауи и Редейф. Месторождения имеют почти одинаковое строение. Фосфоритовые руды принадлежат к

Контент %	Общие запасы (в числителе — руды, в знамена- теле — P_2O_5), млн. т
--------------	--

7	140
	37,8
30	30
	9
-27	350
	94,5
-26	1500
	390
-25	4000
	1000
-27	100
	27
-30	17
	5,1
-31	15
	4,6
-30	300
	100
-32	800
	256
.6	12 000
	3600
-28	30
	8,4
-27,5	150
	41,2
-25	100
	25

ных отложениях сенона — нижнего палеоцена залегают фосфоритоносные отложения терригенно-кремнисто-карбонатной фосфоритоносной формации верхнего палеоцена — нижнего эоцена мощностью 20—90 м. В бассейне выделяются два главных фосфоритоносных района (табл. 15) — северный Сетиф-Тебесса и южный Джебел-Онк — Гафса [Kun D., 1965]. Первый тяготеет к северным, второй — к южным склонам поднятий Кассерин и Батна. Эксплуатируемое месторождение Калаа-Джерда в Тунисе наиболее типично для северного района бассейна. Фосфоритоносные кремнисто-карбонатные отложения танетского и ипрского ярусов залегают здесь на дат-нижнепалеоценовых черных мергелях и перекрываются нуммулитовыми известняками среднего эоцена [Visse L., 1952; Saint-Gulhem K., 1960]. В разрезе фосфоритоносного горизонта, имеющего мощность около 40 м, известно до пяти пластов зернистых фосфоритов, из которых лишь один, имеющий мощность 3—5 м и содержание P_2O_5 до 32%, разрабатывается. На других тунисских месторождениях, например Сра-Уэртане, выделяется до 18 пластов зернистых фосфоритовых руд, содержащих 11—25% P_2O_5 и характеризующихся невыдержанностью как по мощности, так и по составу. Отдельные пласты мощностью 1—2 м залегают в средней части горизонта и содержат до 32% P_2O_5 .

В строении месторождения Калаат-эс-Сенам (см. рис. 8) участвуют отложения танетского яруса, разрез которых следующий (снизу вверх):

1. Мергели и известняки слабофосфатные (5,5—12,5% P_2O_5)	2,5 м
2. Фосфоритовая пачка с четырьмя пластами фосфоритовых руд (18,3% P_2O_5)	6,5 „
3. Фосфориты желваковые	0,25 „
4. Фосфоритовые руды зернистые (27—28% P_2O_5)	2 „
5. Кремни	0,2 „
6. Фосфоритовые руды зернистые (27—28% P_2O_5)	1,2 „
7. Известняки	0,5 „
8. Фосфоритовые руды зернистые (23,1% P_2O_5)	0,6 „
9. Фосфориты желваковые (7,5% P_2O_5)	0,1 „

Сходным геологическим строением характеризуются фосфоритовые месторождения района Сетиф-Тебесса, расположенные на смежной территории Алжира: Куиф, М'Зайта и другие, которые обрабатывались продолжительное время. Наиболее крупное из них месторождение М'Зайта приурочено к антиклинальной структуре. Фосфоритоносный горизонт сложен кремнистыми породами и известняками, чередующимися с маломощными пластами (0,1—2 м) высококремнистых (SiO_2 до 18%) зернистых фосфоритовых руд, содержащих 23—29% P_2O_5 .

Месторождения района Джебел-Онк — Гафса (см. рис. 8) расположены на юго-востоке бассейна. Здесь разведаны и разрабатываются крупные месторождения Джебел-Онк в Алжире, Моуларес, Метлауи и Редейф, Мдилла и другие в Тунисе, имеющие почти одинаковое строение [Visse L., 1948; Kun D., 1965]. Фосфоритовые руды приурочены к отложениям мел — палеогена,

1. Дат—нижний палеоцен — мергели черные с конкрециями глинистых известняков 60—100 м
2. Танетский и ипрский ярусы — фосфоритоносный горизонт 20—60 „
3. Лютетский ярус — глинисто-карбонатные породы.

Месторождение Джебель-Онк приурочено к синклинали Блэд Джема, ограниченной крыльями антиклиналей, в ядре которых обнажаются известняки и кремни сенона (400 м). На них лежат дат-палеоценовые мергели (90 м) и танетский фосфоритоносный горизонт мощностью до 60 м. В составе горизонта залегает мощный пласт (25—30 м) фосфоритовых руд с содержанием 25—32% P_2O_5 , сложенный на 60—70% фосфатными зернами и оолитами. Выше залегают ипрские кремнистые и гипсоносные известняки, мергели и кремни с прослоями фосфоритов. Ипрские отложения перекрыты глинами, гипсоносными и глинистыми известняками и мергелями лютетского яруса мощностью 200 м.

Разрез месторождений Моуларес, Мдила, Метлауи и Редейеф представлен кампанскими мергелями и известняками мощностью 200 м, на которых залегают мелоподобные известняки маастрихта (50—350 м). Еще выше лежат черные мергели и глины с прослоями известняков (76 м), относимые к датскому и монтскому ярусам. Фосфориты приурочены к отложениям ипрского яруса мощностью 13—30 м, которые подстилаются танетскими мергелями с горизонтами гипсов и органических известняков (80 м). Ипрские отложения содержат 2—3 пласта зернистых фосфоритовых руд мощностью 1,8—3,5 м с 28—33% P_2O_5 , которые разделены мергелями и известняками с прослоями гипсов и конгломератов.

Фосфоритовые руды бассейна имеют коричнево-серую, бурую, иногда черную окраску. Сложены фосфатными оолитами, псевдооолитами, копролитами; присутствуют кости позвоночных, особенно много зубов рыб. Оолитовые зерна имеют размеры 0,05—0,5 мм. Часто зерна пропитаны битуминозным веществом [Visse L., 1952].

В тектоническом отношении Алжиро-Тунисский фосфоритоносный бассейн приурочен к перикратонной части Африкано-Аравийской платформы, складчатое основание которой имеет возраст от раннего протерозоя до палеозоя [Леонов Г. П., 1973]. Главные структуры бассейна — поднятия (антеклизы) Батна и Кассерин, а также расположенный южнее их синклиальный прогиб (синеклиза) Негрин. В пределах этих структур наиболее крупные месторождения локализируются на крыльях конседиментационных синклиналиных и брахантиклинальных складок.

Фосфориты сформировались в конце раннеэоценовой трансгрессии моря на северную часть Африкано-Аравийского континента, после которой, начиная со среднего эоцена, активно проявился регрессивный этап. Морской бассейн имел неровное дно с отдельными островами-поднятиями (Батна и Кассерин). Обилие перетолженных остатков разнообразной фауны в фосфоритах и вмещающих породах тектонико-структурные особенности нади-

чие прослоев конгломератов и та свидетельствуют о донных т на [Visse L., 1952]. Горизонтальным образом в подстилающих фациях, указывают на аркадийскую редь, пластовые залежи оолитовые в перекрывающих фациях отложениях среднего эоцена фосфоритообразование во время в Алжиро-Тунисском бассейне: тических условий.

Египетский бассейн расположен (см. рис. 7) на территории, лежащей в пределы Западной пустыни шириной 300—400 км. На этой территории относительно недавно возойские континентальные и которые трансгрессивно ложатся палеозойские интрузивно-метаморфические породы. Они отличаются сравнительно высоким карбонатным составом. Фосфоритовых руд приурочены к маастрихтскому фосфоритоносному горизонту. Запасы руд бассейна около 3,5 млрд т, залегают в долине р. Нил и западного побережья.

Район Западной пустыни на территории плато Абу-Тартур (одноименное месторождение, расположенное на склоне (угол падения $0^{\circ}30'$ — $1^{\circ}30'$) [Hermina M. H., 1971]). Площадь района 20 тыс. га.

Разрез месторождения Абу-Тартур представлен кварцевыми и известняковыми песчаниками мощностью 100 м, с прослоями глины и алевролитов, относимые к маастрихтскому ярусу. Выше располагается пачка (3—4 м) из красных и желтых глины, чередующаяся с прослоями песчаниками и алевролитами. В основании «костных» и желваковых фосфоритовых руд залегает фосфоритовый маастрихтского возраста маастрихтского типа, тип которой выделен в район Абу-Тартур [Hermina M. H., 1973]. В разрезе три пачки (снизу вверх): нижняя — известняковая карбонатно-песчано-глинистая.

и гли-
60—100 м
изонт 20—60 ..

инклинали Блэд
ядре которых
На них лежат
фосфоритоносный
залегают мощ-
шаньем 25—32%
ми и оолитами.
ые известняки,
ские отложения
известняками и

Метлаун и
известняками
ные известняки
мергели и гли-
к датскому и
жениям ипрско-
тся танетскими
их известняков
зернистых фос-
P₂O₅, которые
и гипсов и кон-

о-серую, бурую,
олитами, псев-
воочных, осо-
размеры 0,05—
еществом [Vis-

фосфоритонос-
рикано-Аравий-
еет возраст от
1973]. Главные
а и Кассерин,
прогиб (сине-
е крупные ме-
ационных син-

еновой транс-
кого континен-
ивно проявил-
ное дно с от-
). Обилие пе-
фосфоритах и
ности, нали-

чие прослоев конгломератов в составе фосфоритоносного горизонта свидетельствует о доминирующей роли гипсов, распространенные главным образом в подстилающих фосфоритоносные образования отложениях, указывают на аридные климатические условия. В свою очередь, пластовые залежи оолитовых железных руд, присутствующие в перекрывающих фосфоритовую серию глинисто-карбонатных отложениях среднего эоцена, свидетельствуют о том, что фосфоритообразование во время палеоцен-раннеэоценовой эпохи в Алжиро-Тунисском бассейне происходило при изменении климатических условий.

Египетский бассейн

Египетский бассейн расположен в центре и на юге Египта (см. рис. 7) на территории, протягивающейся от Красного моря в пределы Западной пустыни на расстояние более 600 км при ширине 300—400 км. На этой территории развиты типично платформенные относительно маломощные (до 300—600 м) мезо-кайнозойские континентальные и мелководные морские отложения, которые трансгрессивно ложатся на докембрийские и раннепалеозойские интрузивно-метаморфические образования фундамента. Они отличаются сравнительно выдержанным терригенно-кремнисто-карбонатным составом. Промышленные месторождения фосфоритовых руд приурочены к верхнекампанскому — нижнемаастрихтскому фосфоритоносному горизонту. Общие геологические запасы руд бассейна около 3,5 млрд. т. В пределах бассейна выделяются три фосфоритоносных района: Западной пустыни, долины р. Нил и западного побережья Красного моря (табл. 16).

Район Западной пустыни находится на юго-западе Египта. Здесь на плато Абу-Тартур (оазис Дакхла) разведано крупное одноименное месторождение, приуроченное к северному пологому склону (угол падения 0° 30'—2°) Нубийской антеклизы [Said R., 1971₂]. Площадь района 20 тыс. км².

Разрез месторождения Абу-Тартур (см. рис. 8) начинается нубийской формацией: кварцевыми лагунно-континентальными ко-сослоистыми песчаниками мощностью свыше 200 м с прослоями глини и алевролитов, относимых к средней юре — раннему мелу. Выше располагается пачка (20—75 м) кампанских (?) пестроцветных глини, чередующихся в кровле с кварц-глауконитовыми песчаниками и алевролитами, изредка содержащими пропластки «костных» и желваковых фосфоритов. На глинистой пачке с признаками размыва залегают фосфоритоносная формация Дуви кампан-маастрихтского возраста мощностью от 19,6 до 58,2 м, стратотип которой выделен в районе западного побережья Красного моря [Hermina M. H., 1973]. В разрезе формации выделяются три пачки (снизу вверх): нижняя фосфоритовая, средняя глауконитовая карбонатно-песчано-глинистая и верхняя фосфатно-глинистая.

Характеристика главных месторождений Египетского бассейна
[Said R., 1971₂]

Район, месторождение	Число продуктивных пластов, руд	Мощность пластов, м	Содержание P_2O_5 , %	Общие запасы руды, млн. т
Западная пустыня				
Абу-Тартур	1	4,2	25,3	987,6
Долина р. Нил				
Абу-Хад	3	0,8—1	20,3	635,2
Эль-Махамид	2	0,8—1,5	23,3	309,1
Эль-Машаш	3	0,7—1	22,6	718
Эль-Шагхаб	3	0,6—1	21,3	541
Эль-Батур	3	0,7—1,9	22,3	425
Западное побережье Красного моря				
Группа месторождений Кусейр (Хамравейн и др.)	2—4	0,5—1,5	24,9	60—80
Группа месторождений Сафага (Васиф и др.)	1—3	1—2	21—25	60—100

Промышленные руды месторождения связаны с нижней пачкой, имеющей мощность 3—16 м. Она сложена преимущественно фосфоритами с прослоями и линзами листоватых глин и фосфатных доломитов. Наиболее насыщена фосфоритами нижняя часть этой пачки (от 1 до 5 пластов). Продуктивный пласт, залегающий в основании фосфоритоносной формации на неровной размытой поверхности пестроцветных глин нубийского комплекса, характеризуется изменчивостью строения и мощности. Несмотря на это, продуктивность его в разных местах мало отклоняется от среднего значения (25,3% P_2O_5 при средней мощности 4,24 м). В целом наблюдается сокращение мощности пласта и уменьшение содержания P_2O_5 с запада на восток. При этом во впадинах подстилающих отложений мощность пласта увеличивается, а на выступах уменьшается. В западной части месторождения увеличивается роль глин и фосфатно-карбонатных пород, особенно в нижней части пласта.

Для фосфоритовых руд характерно повышенное содержание доломита и тонкорассеянного пирита (до 3,6%). Химический состав фосфоритов, относимых к пирит-глинисто-карбонатному типу, следующий (в %): P_2O_5 17,8—29,08; CaO 32,7—45,0; CO_2 2,2—12,12; Al_2O_3 0,6—2,67; MgO 0,6—4,7; SiO_2 2,0—13,3; н. о.

2,2—13,6; $Fe_{общ}$ 2,5—4,2; Fe_{Fe} 4,4—13,8; CO_2 0,15—2,71. Характер редких земель перовой группы

Средние и верхние части глинами, чередующимися с пластками фосфоритов. В эоцено-раминифер маастрихтского карбонатная толща (75—130 м) прослой алевролитов и маастрихтскому ярусу [Согласно перекрыта палеогеном более 130 м, сложенной органическими, с прослоями кремнистыми, с прослоями кремнистыми, с прослоями кремнистыми]

На смежной, расположенной территории оазиса Харга Западные, но слабо изученные

Район долины р. Нил простирается к Нильской синеклизе западе синеклиза ограничивается и юге — выступами пород флюта. Кампан-маастрихтские руды, тяготеют к восточному геологические запасы фосфоритов [Abdallah A. M. e. a., 1972].

Месторождение района Эль-Ма Разрез мел-палеогеновых песчаных песчаниками нубийскими на юге площади (вади Нубийского состава, абсолютный возраст в южных частях района (Комплекс широко распространены местами (плато Калабша) в [Issawi B., 1973]. Выше залегает лит-монтмориллонитового верхней части разреза которого песчаников с фосфоритовыми

Фосфоритоносные отложения в районе Эль-Махамид, залегающие в цветных глинах Кусейр, имеют характерен кремнисто-терригенный фосфоритоносный горизонт к основанию разреза формации зернистых фосфоритовых глинистых, доломитистых, а также и мелко распространены глины

На месторождении в основании пласта: нижний и верхний, мощностью 1—2 м. Нижний пласт мощностью 1—2 м. Восточном участке месторождения

Таблица 16
тского бассейна

Содержание P_2O_5 , %	Общие запасы руды, млн. т
25,3	987,6
20,3	635,2
23,3	309,1
22,6	718
21,3	541
22,3	425
24,9	60—80
21—25	60—100

заны с нижней пач-
ена преимущественно
атых глин и фосфат-
итами нижняя часть
й пласт, залегающий
ровной размытой по-
мплекса, характери-
Несмотря на это,
лоняется от среднего
4,24 м). В целом
уменьшение содер-
впадинах подстила-
ется, а на выступах
дения увеличивается
обенно в нижней ча-

шенное содержание
(%). Химический со-

о-карбонатному ти-
D 32,7—45,0; CO_2
CO 0,0—12,2; SO_2

2,2—13,6; $Fe_{общ}$ 2,5—4,2; FeS_2 0,6—4,7; H_2O 1,6—2,71; п. п. п. 4,4—13,8; $C_{орг}$ 0,15—2,71. Характерно высокое содержание суммы редких земель цериевой группы (от 0,07 до 0,3%).

Средние и верхние части разреза формации Дуви слагаются глинами, чередующимися с глауконитовыми песчаниками и пропластками фосфоритов. В составе глин встречены раковины фораминифер маастрихтского возраста. Выше залегает глинисто-карбонатная толща (75—130 м) — формация Дакхла, содержащая прослой алевролитов и фосфоритные конкреции, относимая к маастрихтскому ярусу [Hermina M. H., 1973]. Эта формация согласно перекрыта палеогеновой формацией Куркур мощностью более 130 м, сложенной органогенными известняками, часто глинистыми, с прослоями кремней.

На смежной, расположенной к востоку от плато Абу-Тартур, территории оазиса Харга Западной пустыни известны многочисленные, но слабо изученные проявления фосфоритов.

Район долины р. Нил площадью более 100—150 км² приурочен к Нильской синеклизе меридионального простирания. На западе синеклизы ограничивается Нубийской антеклизой, на востоке и юге — выступами пород фундамента Аравийско-Нубийского щита. Кампан-маастрихтские отложения, вмещающие фосфоритовые руды, тяготеют к восточному пологому крылу синеклизы. Общие геологические запасы фосфоритовых руд района 1,8 млрд. т [Abdallah A. M. e. a., 1972]. Наиболее крупное эксплуатируемое месторождение района Эль-Махамид.

Разрез мел-палеогеновых отложений района начинается кварцевыми песчаниками нубийского комплекса (200 м), включающими на юге площади (вади Наташ) покровы трахит-базальтового состава, абсолютный возраст которых 75—80 млн. лет. В более южных частях района (Ком-Омбо, Асуан) в составе комплекса широко распространены железистые песчаники, среди которых местами (плато Калабша) встречаются линзы каолиновых глин [Issawi B., 1973]. Выше залегают пестроцветные глины бейделлит-монтмориллонитового состава формации Кусейр (115 м), в верхней части разреза которой присутствуют слои глауконитовых песчаников с фосфоритовыми конкрециями (P_2O_5 10—20%).

Фосфоритоносные отложения формации Дуви на месторождении Эль-Махамид, залегающие с признаками размыва на пестроцветных глинах Кусейр, имеют мощность 40—80 м. Для них характерен кремнисто-терригенно-карбонатный состав. Продуктивный фосфоритоносный горизонт мощностью 25—30 м приурочен к основанию разреза формации Дуви. Горизонт сложен пластами зернистых фосфоритовых руд, залегающих среди мергелей, глинистых, доломитистых, а также устричных известняков. Ограниченно распространены глины и кремнистые породы.

На месторождении в основном выделяются два продуктивных пласта: нижний и верхний, разделенные карбонатными породами. Нижний пласт мощностью 0,3—1,5 м (в среднем 0,8 м) на восточном участке месторождения сложен рудами, содержащими

16,9—28,9% P_2O_5 . Верхний пласт в западной части месторождения (участок Эс Сибайя) имеет мощность 0,9—2,3 м и содержание P_2O_5 18,3—25,6%. Иногда появляется третий, непромышленный пласт зернистых фосфоритов.

Фосфоритовые руды сложены на 60—70% зернистым фосфатным материалом (размер 0,1—2,5 мм) с примесью фосфатного детрита ихтиофауны и моллюсков (10—25%), сцементированным кремнисто-карбонатным или глинисто-кремнистым веществом. Средний химический состав фосфоритовых руд (в %): P_2O_5 23,3; CO_2 7,4; CaO 40,7; MgO 0,18; Fe_2O_3 2,12; Al_2O_3 0,29; SiO_2 17,7; SO_3 1,27; F 2,78; н. о. 18,27; Cl 0,43; п. п. 10,25. Фосфоритовые руды характеризуются повышенным содержанием железа и кремнезема. Высокое содержание Fe_2O_3 особенно характерно для так называемых «окисленных руд», развитых в зоне выщелачивания, где происходит окисление рассеянного в фосфоритах пирита и других железистых минералов. Фосфатное вещество представляет собой изоморфную смесь фторкарбонатапатита и натрийсульфатапатита.

Верхняя часть разреза фосфоритоносного горизонта сложена преимущественно глинами с прослоями мергелей, известняков, фосфоритов (0,1—0,4 м), железистых и глауконитовых песчаников. Возраст фосфоритоносных отложений одни исследователи [Михайлов И. А. и др., 1971] определяют по составу фауны аммонитов как кампанский, другие [Said R., 1971₂] по микрофауне — как кампан-маастрихтский.

Перекрывающие фосфоритоносный горизонт отложения формации Дахла (25—137 м) сохраняют глинисто-карбонатный состав и слабую фосфатность. Они содержат многочисленные раковины фораминифер маастрихтского возраста. Еще выше залегают глины и мергели нижнего палеоцена, мелоподобные известняки верхнего палеоцена, глины, мергели, известняки и кремнистые породы нижнего эоцена, которые сменяются нуммулитовыми известняками среднего эоцена. Общая мощность перекрывающих палеоцен-эоценовых отложений около 350—400 м [Крашенинников В. А. и др., 1964, 2].

Описанный разрез мел-палеогеновых отложений претерпевает заметные фациальные изменения, особенно в южном направлении от месторождения Эль-Махамид. Так, на фосфоритопроявлении Ком Омбо происходит почти полное выклинивание фосфоритовых руд, при этом фосфатные и карбонатные породы замещаются кварцевыми и кварц-глауконитовыми песчаниками. Хотя к северу от Эль-Махамид сохраняется фосфоритоносность кампан-маастрихтских отложений (месторождения Абу-Хад и др.), начинают проявляться сильная фациальная изменчивость и частые переходы фосфоритов в фосфоритные известняки, мергели, глины и кремнистые породы. Характерно появление большого числа пластов зернистых фосфоритовых руд в верхних частях разреза продуктивного горизонта. Дальше на север фосфоритоносность кремнисто-глинисто-карбонатных отложений кампан-маастрихтского разреза

снижается, при этом в их состав входят натриевые породы (мергели, известняки).

М. Ганем и другие исследователи (месторождения Эль-Махамид и др.) и юный — тип разреза характерен для В центральной и северной его части горизонта играют карбонатные глины и особенно песчаники, известняки. Таким образом, для Эль-Махамид, Абу-Хад и других характерен тип разреза, а не песчаный.

В северном направлении от продуктивные пласты в низах фосфоритовых руд и появляются в его средине известняками, часто устричными, известняками. Здесь выделяется фосфоритов средней мощностью (в среднем P_2O_5 20,3—23% (месторождения Эль-Машаш и др.).

Район западного побережья Египта отложения кампан-маастрихтского в виде прерывистой полосы северной мощностью 100 км. Они сложены в моноклинальные складки, приподняты. Углы падения крыльев складки.

В этом районе насчитывается количество которых отработано. Фосфоритовых руд района не менее 100 месторождения по географическому делению на две группы. Первая группа в окрестностях г. Кусейр, включает Камадат, Ачан, Насер, Дува. Ачан представлена месторождениями Махамид Рабах, располагается в районе месторождения Абу-Тундуб. Дува Ув Хуэтат и Васиф; суммарная мощность 400 тыс. т руды.

По данным Р. Сауда [Said R.] перекрывающий древний фундамент в известняками — палеогеновыми фациями, в которых выше с размывом и углублением соносные терригенно-карбонатные породы и четвертичного возраста.

Основание разреза верхнего горизонта сложено толщей кварцевых песчаников (43—200 м) верхнеэоценового

месторожде-
содержание
ышленный

м фосфат-
фосфатного
ированным
веществом.
 P_2O_5 23,3;
 SiO_2 17,7;
ефоритовые
еза и крем-
но для так
елачивания,
к пирита и
редставляет
ийсульфат-

та сложена
известняков,
ых песчани-
следователи
фауны ам-
микрофау-

жения фор-
оватный со-
енные рако-
е залегают
известняки
мнистые по-
ыми извест-
вающих па-
рашенини-

ретерпевает
аправлении
опроявлении
ефоритовых
замещаются
тя к северу
мпан-мааст-
, начинают
тые перехо-
ины и крем-
ла-пластов
еза продук-
ость крем-
ихта резко

снижается, при этом в их составе начинают доминировать карбо-
натные породы (мергели, известняки).

М. Ганем и другие исследователи выделяют три типа разреза
фосфоритоносного горизонта: северный — глинистый (Абу-Хад и
другие месторождения), центральный — песчано-глинистый (Эль-
Махамид и др.) и юный — песчаный Ком Омбо). Песчани-
стый тип разреза характерен лишь для южных частей района.
В центральной и северной его частях наибольшую роль в составе
горизонта играют карбонатные породы при ограниченном разви-
тии глин и особенно песчаников; фосфориты здесь обычно крем-
нистые. Таким образом, для крупных месторождений Эль-Маха-
мид, Абу-Хад и других характерен кремнисто-глинисто-карбонат-
ный тип разреза, а не песчано-глинистый.

В северном направлении от месторождения Эль-Махамид про-
дуктивные пласты в низах фосфоритоносного горизонта выклини-
ваются и появляются в его средней и верхней частях, сложенных
известняками, часто устричными, мергелями, глинами и кремни-
стыми породами. Здесь выделяется от 2 до 3 пластов зернистых
фосфоритов средней мощностью около 1 м со средним содержа-
нием P_2O_5 20,3—23% (месторождения Абу-Хад, Эль-Шагхаб,
Эль-Машаш и др.).

Район западного побережья Красного моря. Фосфоритоносные
отложения кампан-маастрихтского возраста распространены здесь
в виде прерывистой полосы северо-западного простирания протя-
женностью 100 км. Они смяты в узкие грабен-синклинальные и
моноклинальные складки, примыкающие к разрывным наруше-
ниям. Углы падения крыльев складок 25—40°.

В этом районе насчитывается свыше 15 месторождений, боль-
шинство которых отработано. Общие геологические запасы фосфо-
ритовых руд района не менее 150—200 млн. т. Известные здесь
месторождения по географическому положению можно подразде-
лить на две группы. Первая, южная группа, расположенная в
окрестностях г. Кусейр, включает месторождения Абу-Тундуб,
Хамадат, Ачан, Насер, Дуви, Анз, Накхейл и Хамравейн. Вторая,
представленная месторождениями Гуэх, Ум Хуетат, Васиф и Ма-
хамид Рабах, располагается в районе г. Сафага. Эксплуатируются
месторождения Абу-Тундуб, Дуви, Анз, Накхейл, Хамравейн, Гуэх,
Ум Хуетат и Васиф; суммарная годовая добыча — около 200—
400 тыс. т руды.

По данным Р. Саида [Said R., 1971], осадочный чехол, пере-
крывающий древний фундамент в этом районе, представлен верх-
немеловыми — палеогеновыми фосфоритоносными отложениями, на
которых выше с размывом и угловым несогласием залегают гип-
соносные терригенно-карбонатные образования олигоцен-неогено-
вого и четвертичного возраста.

Основание разреза верхнего мела — палеогена (см. рис. 8)
сложено толщей кварцевых песчаников нубийского комплекса
(43—200 м) верхнесенонского возраста, постепенно сменяющихся
кампанскими (?) пестроцветными глинами формации Кусейр

(50—300 м). В верхней части последней распространены слои глауконит-кварцевых песчаников и прослой бедных фосфоритовых руд зернистого типа. Выше залегает фосфоритонесущая формация Дуви (кампан — маастрихт), отличающаяся изменчивым составом. Она согласно перекрыта мелоподобными светло-розовыми известняками и мергелями с редкими прослоями глин и фосфоритов карбонатных породах этой формации располагается мощный (6—20 м) слой мела (формация Тараван Чок нижнего палеоцена), сменяющийся выше зелеными глинами (до 50—70 м) формации Исна (верхний палеоцен). Разрез рассматриваемых отложений заканчивается мощной (до 151 м) толщей нижнего эоцена, представленной ритмичным переслаиванием известняков и мергелей с тонкими слоями конкреционных черных и бурых кремней (формация Тибес).

Фосфоритонесущая формация Дуви имеет максимальную мощность (60—70 м) на площади распространения южной группы месторождений (Кусейр). Она отчетливо подразделяется на три горизонта. Нижний, продуктивный горизонт мощностью 10 м, сложен мергелями, глинами, кремнистыми породами и глинистыми известняками, переслаивающимися с пластами зернистых фосфоритовых руд, количество которых на отдельных месторождениях (Абу-Тундуб, Дуви) достигает шести. Из них лишь 1—2 пласта по мощности (0,5—3 м) и содержанию P_2O_5 (20—30%) представляют промышленный интерес. В составе фосфоритовых пластов постоянно содержатся прослой и линзы кремней, глин и глинистых доломитов. Средний горизонт (10—50 м) сложен почти нацело грубослоистыми известняками-устричниками. Верхний фосфоритонесущий горизонт мощностью 4—18 м включает 1—3 пласта промышленного значения, залегающих среди кремнисто-карбонатных пород. Мощность этих пластов 0,3—1,5 м при содержании P_2O_5 21—30%.

На площади распространения северной группы месторождений (Сафага) мощность фосфоритонесущей формации резко сокращается до 20—25 м за счет выклинивания горизонта устричных известняков. Фактически здесь выделяется один продуктивный фосфоритонесущий горизонт, сложенный преимущественно карбонатными породами (известняки, мергели) и кремнями с 1—3 промышленными пластами. Мощность пластов изменяется от 1 до 2 м при содержании P_2O_5 21—31%. Характерна приуроченность пластов фосфоритовых руд большой мощности (1,5—2 м) и с высоким содержанием P_2O_5 (27—31%) к средней и верхней частям разреза формации Дуви. В кровле фосфоритонесущих горизонтов часто располагаются пласты гравелитовых фосфоритов, сложенные на 70—80% фосфатным гравелитовым материалом размером до 1—3 см с примесью зубов и костей акул. Цемент преимущественно карбонатный; часто он выщелочен, что приводит к дезин-

Химический состав фосфоритов 20,4—31; CaO 41,28—44,75; CO_2 0,08—0,61; Fe_2O_3 1,5—1,6; F 2,34— Na_2O+K_2O 0,5; SiO_2 0,32—2,04; 21,1. По данным А. И. Смирнова представлено фторкарбонаталит апатита.

Рассмотренные особенности фосфоритовых месторождений Египта вводят о платформенных условиях пан-маастрихтскую эпоху. Ущелья размещались в шельфовой части пологих склонах Аравийского полуострова. Состав пород и фосфоритовых руд впадинной пустыни, долины р. Нил в пределах бассейна. Относительно морская обстановка существовала в глубоководной — в районе долины в морском районе [El Sayed, El Tar

Восточно-Средиземноморский

Восточно-Средиземноморский восточнее Африкано-Аравийский по территории от Синайского полуострова до Ефрата, захватывая северную часть Турции. Условно его можно разделить на районы (табл. 17): Израильский, Саудовско-Аравийский и др. (1964; Покрышкин В. И., 1972).

Израильский район расположен в Негеве. В пределах района известны Эфе и другие, часть которых в годовой добычей 1,5—2 млн. т руд (U. S., 1967; Allon Gabriel, 1972).

Фосфоритовые руды района относятся к карбонатным отложениям, типичным для этого района (см. рис. 8). Они слагают 1—3 м горизонт, характеризуются содержанием 24% P_2O_5 и мощностью 170 м.

В израильских месторождениях преобладают графические типы фосфоритов. Аморфные фосфориты распространены в районе Зефа-Эфе. Они состоят из

Химический состав фосфоритовых руд района (в %): P_2O_5 20,4—31; CaO 41,28—44,75; CO_2 12,65—17,84; MgO 0,5—6,8; Al_2O_3 0,08—0,61; Fe_2O_3 1,5—1,6; F 2,34—3,05; Cl 0,21; SO_3 1,31—1,57; Na_2O+K_2O 0,5; SiO_2 0,32—2,04; н. о. 2,25—2,28; п. п. п. 16,62—21,1. По данным А. И. Смирнова [1972], фосфатное вещество представлено фторкарбонатапатитом с примесью натрийсульфатапатита.

Рассмотренные особенности размещения, состава и строения фосфоритовых месторождений Египетского бассейна свидетельствуют о платформенных условиях фосфоритообразования в кампан-маастрихтскую эпоху. Участки максимального фосфатонакопления размещались в шельфовой зоне теплого мелководного моря на пологих склонах Аравийско-Нубийского щита. Разнообразный состав пород и фосфоритовых руд формации Дуви в районах Западной пустыни, долины р. Нил и западного побережья Красного моря указывает на различные условия фосфоритообразования в пределах бассейна. Относительно более мелководная прибрежно-морская обстановка существовала на участке Абу-Тартур, а более глубоководная — в районе долины р. Нил и особенно в Красноморском районе [El Sayed, El Tarabili, 1969].

Восточно-Средиземноморский бассейн

Восточно-Средиземноморский бассейн расположен на северо-востоке Африкано-Аравийской провинции (см. рис. 7). Занимает территорию от Синайского полуострова до междуречья Тигра и Ефрата, захватывая северную часть Саудовской Аравии и юг Турции. Условно его можно разделить на шесть фосфоритоносных районов (табл. 17): Израильский, Иорданский, Сирийский, Иракский, Саудовско-Аравийский и Южно-Турецкий [Sheldon R. P., 1964; Покрышкин В. И., 1970, 1971; Meissner C. R., Ankary A., 1972].

Израильский район располагается на юге Израиля в пустыне Негев. В пределах района известны месторождения Орон, Зефа-Эфе и другие, часть которых введена в эксплуатацию с общей годовой добычей 1,5—2 млн. т руды [Bentor J. K., 1953; Würzburg U. S., 1967; Allon Gabriel, 1974].

Фосфоритовые руды района приурочены к сенонским кремнисто-карбонатным отложениям, тяготея к верхней части их разреза (см. рис. 8). Они слагают 1—3 пласта мощностью 1,8—6 м и характеризуются содержаниями 24,5—32,84% P_2O_5 . Фосфоритоносный горизонт перекрывается слабофосфатными мергелями и мелоподобными известняками (маастрихт), слагающими толщу мощностью 170 м.

В израильских месторождениях различается несколько петрографических типов фосфоритов: аморфные, оолитовые и др. Аморфные фосфориты распространены в основном на месторождении Зефа-Эфе. Они состоят из обломков, сложенных аморфным фосфатным веществом, с незначительной примесью копролитов,

Таблица 17

Фосфоритоносные районы и главнейшие месторождения
Восточно-Средиземноморского бассейна
[Sheldon R. P., 1964; Würzburger U. S., 1967;
Покрышкин В. И., 1970, 1971; Bender F. e. a., 1970;
Meissner C. R., Ankary A., 1972]

Район, месторождение (возраст)	Число продук- тивных пластов руд	Мощность пластов, м	Содержание P_2O_5 , %	Общие запасы (в числителе — руды в знаменателе — P_2O_5), млн. т
Израильский район				
Орон (Cr_2^5)	3	0,9—1,8	24—30	$\frac{150}{40,5}$
Зефа-Эфе (Cr_2^5)	1	3,4	27—30,2	Нет данных
Иорданский район				
Эль-Хаса (Cr_2^6)	2	1,25—3,4	30—34	$\frac{300}{85}$
Русейфа (Cr_2^6)	4	1,5—2,9	25—30	$\frac{27,5}{8,1}$
Саудовская Аравия				
Западный Тханиет (Cr_2^6)	2	0,1—2,5	28,0	$\frac{190}{\text{Нет данных}}$
Туранф (Cr_2^6)	1—6	0,25—8,0	18,0	$\frac{711,2}{\text{Нет данных}}$
Сирийский район				
Кнейфис (Cr_2^5)	2	3,7—3,9	28,5	$\frac{768}{200}$
Восточное (Cr_2^5)	2	9—11,0	24,5	$\frac{415}{101,5}$
Ерхейм (Cr_2^5)	3	1,1—1,4	23,3	$\frac{160}{28,9}$
Хбари (Pg_2^1)	2	1,35—1,5	19,0	$\frac{432}{82,1}$
Иракский район				
Рутба ($Pg_1^1—Pg_2^{2-3}$)	3	0,65—5,0	18,6	$\frac{1700}{93,0}$
Южно-Турецкий район				
Мардин (Cr_2^5)	3	1,0—1,5	10—11	$\frac{200}{21,0}$

сцементированных фосфатных материалов. Содержание P_2O_5 — самый распространенный элемент в большинстве месторождений. Они оvoidными зернами размером 70—80% объема породы, с халцедон-карбонатным матом, в которых изменяется от 20 до 40% и имеют промышленного значения только на севере, в то время как в южной части (разности распространены в месторождениях Орон). В фосфоритовых породах преобладают окаменелости: зубы акул, рыб, ракообразных [Würzburger U. S., 1967].

Для фосфоритоносных районов характерно широкое развитие кремнистых пород: гомогенные, порцеллановые, иногда с содержанием органического вещества до 10—30 см, переслаивающиеся с порцелланитовыми кремнями — повышенное количество P_2O_5 в тонком горизонте и состоят из обломков, состоящих из кварца, сцементированных порцелланитом. Кремнистые породы в фосфоритовых месторождениях распространены на территории Иордании и прослеживаются как в Иорданию, Сирию.

В тектоническом отношении фосфоритовые месторождения располагаются на складчатой территории, выраженной в современной структуре антиклинальных складок, которые размыты. В их ядрах сосредоточены месторождения фосфоритовых пород. Месторождения локализованы в конседиментационной прибрежной зоне, испытывала дифференцирование в результате медленного осадконакопления в мелководном море Аравийскую часть Африки в период трансгрессии интенсивно размыты. Данные триас-юрские эвапоритовые взаимоотношения в фосфоритовых месторождениях. Данные палеогеографические карты [Покрышкин В. И., 1970; 1971; 1972; 1967; и др.] показывают, что зоны фосфатонакопления

Общие запасы
(в числителе — руды
в знаменателе — P_2O_5),
млн. т

150	40,5
Нет данных	
300	85
27,5	8,1
190	
Нет данных	
711,2	
Нет данных	
768	200
415	101,5
160	28,9
432	82,1
1700	93,0
200	21,0

сцементированных фосфатным или карбонатным (кальцитовым) материалом. Содержание P_2O_5 30—35%. Оолитовые фосфориты — самый распространенный тип фосфоритовых руд на большинстве месторождений. Они сложены фосфатными оолитами или овоидными зернами размером 0,125—0,25 мм, составляющими 70—80% объема породы, сцементированными кальцитовым, либо халцедон-карбонатным материалом. Содержание P_2O_5 в фосфоритах изменяется от 20 до 32,8%. Фосфориты остальных типов не имеют промышленного значения. Аморфные фосфориты установлены только на севере, в то время как оолитовые или зернистые разновидности распространены главным образом на юге Израиля (месторождения Орон). В фосфоритах отмечаются многочисленные окаменелости: зубы акул, кости рептилий, остатки микрофауны [Würzburger U. S., 1967].

Для фосфоритоносных горизонтов данного района характерно широкое развитие кремнистых пород. Среди последних различают гомогенные, порцелланитовые и брекчиевые разновидности [Kolodny G., 1969]. Гомогенные кремни состоят из нодулей, имеют коричневатый, иногда черный цвет (вследствие высокого содержания органического вещества). Образуют прослои мощностью 10—30 см, переслаивающиеся известняками и порцелланитами. Порцелланитовые кремни — опоковидные породы, содержащие повышенное количество P_2O_5 . Они подстилают главный фосфоритоносный горизонт и состоят из кристобалита. Брекчиевые кремни слагаются обломками, состоящими из микрокристаллического кварца, сцементированными кремнисто-фосфатным материалом. Кремнистые породы в фосфоритоносных горизонтах широко распространены на территории Израильского фосфоритоносного района и прослеживаются как на юг, в Египет, так и на северо-восток — в Иорданию, Сирию и Ирак.

В тектоническом отношении месторождения Израильского района располагаются на склонах внутриплатформенного прогиба, выраженного в современной структуре Синайской складчатой зоны [Покрышкин В. И., 1970]. Эта зона состоит из ряда брахиантиклинальных складок, купола которых, как правило, нарушены и размыты. В их ядрах обнажаются галогенные отложения. Месторождения локализуются на крыльях синклиналей, имеющих конседиментационную природу [Ventor J. K., 1953]. Во время формирования фосфоритовых руд территория Синайского прогиба испытывала дифференцированные опускания и характеризовалась медленным осадконакоплением. Фосфатонакопление происходило в мелководном морском бассейне, трансгрессировавшем на Аравийскую часть Африканской платформы, причем во время трансгрессии интенсивно размывались породы субстрата, сложенные триас-юрскими эвапоритами, о чем свидетельствуют современные взаимоотношения их с мел-палеогеновыми образованиями. Данные палеогеографических исследований [Würzburger U. S., 1967; и др.] показывают, что древний берег был расположен от зоны фосфатонакопления к юго-востоку (Аравийско-Нубийский

щит) и глубина бассейна увеличивалась к западу и северо-западу. Климатические условия были аридными, что подтверждается наличием синхронных гипсов и доломитов на востоке и юго-востоке в районе Аравийского полуострова.

Иорданский район территориально является продолжением Израильского района на восток-северо-восток. Однако промышленные месторождения здесь связаны с более поздними — маастрихтскими отложениями, входящими в состав кремнисто-карбонатной свиты «Белька» мощностью 424—910 м [Arambourg С. с. а., 1959; Burdon D. J., 1959; Bender F. с. а., 1970]. Известные в районе эксплуатируемые месторождения Эль-Хаса и Русейфа приурочены к западному склону Иорданской антеклизы.

Фосфоритоносный горизонт месторождения Эль-Хаса (см. рис. 8) мощностью 35 м сложен известняками, кремнями, мергелями и фосфоритовыми рудами. В основании горизонта залегает пачка (3,3 м) переслаивающихся известняков, кремнистых пород и мергелей с карбонатными гальками в подошве. На этой пачке лежат зернистые фосфоритовые руды мощностью 3,4 м (нижний пласт) с карбонатным цементом, содержащие до 34% P_2O_5 . Пласт перекрыт известняками, имеющими в кровле конcretionную текстуру, в которых наблюдаются прослой кремней и мергелей. Мощность известняков 12,6 м. Выше лежит пачка (14,8 м) известняков и мергелей, включающая два прослоя зернистых фосфоритовых руд (0,1—0,3 м). На ней залегает второй продуктивный пласт фосфоритовых руд мощностью 1,25 м, содержащий 32,5% P_2O_5 .

На месторождении Русейфа мощность фосфоритоносного горизонта сокращается до 22 м. Одновременно увеличивается до четырех число продуктивных пластов и их мощности, составляющие соответственно: 2,5; 2,4; 1,5 и 2,9 м (см. табл. 17). Сокращение мощности горизонта происходит за счет вмещающих кремнисто-карбонатных отложений. Отмечается высокая кремнистость зернистых фосфоритовых руд, что обуславливает невысокое содержание в них P_2O_5 (24—25%).

В фосфоритовых рудах [Reeves M. I., Saadi T. A. K., 1971] присутствуют: а) обломки зубов и костей размером от 1 мм до 2 см в количестве 10—15%; б) округлые зерна размером от 0,1 до 1 мм в количестве 60—80%, состоящие преимущественно из фторкарбонатапатита. В составе цемента отмечены кремнезем и карбонаты, главным образом кальцит.

Саудовско-Аравийский район выделен В. И. Покрышкиным на севере страны. Приурочен к крупной синклинальной структуре Сирхан северо-западного простирания [Meissner С. R., Ankara A., 1972]. Пласты зернистых фосфоритовых руд располагаются здесь в отложениях двух свит: Арума (кампан — маастрихт) и Хибр (палеоцено — нижний эоцен). Фосфоритоносный горизонт свиты Арума детально изучен на месторождении Западный Тханийет, расположенном на юго-западном пологом крыле синклинали Сирхан. Фосфоритовые руды зернистого типа слагают два продуктив-

ных пласта (нижний и верхний 2,5 м и 0,1—1 м) и характерны P_2O_5 . Они разделены прослоями. Горизонт залегает на кварцевой части разреза свиты. Мощность

Второй фосфоритоносный горизонт залегает в кровле свиты Хибр. Зонты свиты Арума пачкой (4—6 м) органическими, и кремнистыми горизонта выделяется от 1 до 6 м, содержащих 11—23% P_2O_5 (в среднем 0,25—0,8 м). Фосфоритовые руды выделены на месторождении Сирхан крыле синклинали Сирхан.

Среди фосфоритовых руд (карбонатные и кремнистые) [Cart J. V., 1968]. Наиболее характерны ангидрита характеризуются фосфоритовые руды, они содержат 0,62%; н. о. 2,86; MgO 0,82; CaO 0,08; CO_2 2,82; F 3,92; S_{total} 0,5.

Сирийский район расположен платформенной складчатой зоной. Здесь находятся месторождения Ефративные образования которых образуются в платформе, а также месторождения [Atfeh M. S., 1966; Эль-Исса I., 1971]. Непромышленные прослои также в отложениях свиты

Район складчатой зоны Платформы протягивается в северо-восточном направлении к реке Ефрат на расстояние 400 км. Месторождения приурочены к свитам на южном (Кнейфис и Восточный) крыле синклинали. В геологическом строении участвуют: триас-юрские доломиты, мергели, гипсы, гальки от аптского по датский ярусные песчаниками, известняками, кремнями и фосфоритовыми отложения слагаются мергелями, глинами и песчаниками, конгломератами и четвертичными отложениями. Общая мощность свиты

Кампанские отложения мощностью 60—75 м и слагаются органическими известняками, мергелями и фосфоритовыми породами и фосфоритовыми породами. Фосфоритовый ярус залегает про-

и северо-западно подтверждается в стоке и юго-во-

продолжением однако промышленными — маастрихто-карбонатными [Agambourg С. 0]. Известные в и Русейфа при-

Эль-Хаса (см. кремнями, меридиона залегает кремнистых пород. На этой мощностью 3,4 м жакши до 34 % кровле конкреции кремней и лежит пачка прослоя залегает второй прослоя 0,25 м, содержа-

фосфоритового горно увеличивается до 17). Сокращающихся кремнистых кремнистых невысокое содер-

А. К., 1971] приот 1 мм до 2 мм тером от 0,1 до ственно из фторремнезем и кар-

покрышкиным на льной структуре С. R., Ankary A., полагаются здесь (стрихт) и Хибр горизонт свиты Тханийет, расинклинали Сир-

ных пласта (нижний и верхний мощностью соответственно 1—2,5 м и 0,1—1 м) и характеризуются средним содержанием 23% P_2O_5 . Они разделены прослоями известняков, кремней и глин. Горизонт залегает на кварцевых песчаниках, слагающих большую часть разреза свиты. Мощность его 3,5 м.

Второй фосфоритовый горизонт мощностью 5—10 м располагается в кровле свиты Хибр. Он отделяется от нижнего горизонта свиты Арума пачкой (42 м), сложенной известняками, обычно органогенными, и кремнистыми породами. В составе этого горизонта выделяется от 1 до 6 пластов фосфоритовых руд, содержащих 11—23% P_2O_5 (в среднем около 18%), общей мощностью 0,25—8 м. Фосфоритовые руды этого горизонта (722 млн. т) разведаны на месторождении Сирхан-Туранф на северо-восточном крыле синклинали Сирхан.

Среди фосфоритовых руд района выделяются сцементированные (карбонатные и кремнистые) и рыхлые разновидности [Cathcart J. B., 1968]. Наиболее высоким содержанием фосфорного ангидрита характеризуются рыхлые, выветрелые зернистые фосфоритовые руды, они содержат (в %): P_2O_5 32,4; CaO 50; SiO_2 0,62%; н. о. 2,86; MgO 0,82; Al_2O_3 0,85; Fe_2O_3 0,21; Na_2O 0,28; K_2O 0,08; CO_2 2,82; F 3,92; $S_{общ}$ 0,5.

Сирийский район расположен в основном в пределах внутриплатформенной складчатой зоны Пальмирид. На его территории находятся месторождения Кнейфис, Ерхейм и Восточное, продуктивные образования которых имеют кампан-маастрихтский возраст, а также месторождение Хбари нижнеэоценового возраста [Atfeh M. S., 1966; Эль-Исса М. С., 1971; Покрышкин В. И., 1970, 1971]. Непромышленные проявления фосфоритов в районе известны также в отложениях сантона.

Район складчатой зоны Пальмирид занимает площадь, которая протягивается в северо-восточном направлении от Ливана до р. Ефрат на расстояние 400—500 км при ширине около 100 км. Месторождения приурочены к слабо дислоцированным отложениям на южном (Кнейфис и Восточное) и северном (Ерхейм) крыльях зоны. В геологическом строении складчатой зоны Пальмирид участвуют: триас-юрские доломиты, известняки с прослоями ангидритов, мергели, гипсы, глинистые сланцы; меловые отложения от аптского по датский ярус включительно, представленные кварцевыми песчаниками, известняками, мергелями, доломитами, гипсами, кремнями и фосфоритами. Залегające выше палеогеновые отложения слагаются мергелями, известняками, фосфоритами, кремнями, глинами и песчаниками. Разрез венчают неогеновые конгломераты и четвертичные аллювиально-пролювиальные образования. Общая мощность перечисленных отложений 4000 м.

Кампанские отложения на месторождении Кнейфис имеют мощность 60—75 м и слагаются глинистыми, кремнистыми и органогенными известняками, массивными черными кремнистыми породами и фосфоритовыми рудами. В кровле отложений кампан-

мощностью 20 м, представленный двумя пластами зернистых фосфоритовых руд. Пласты разделяются пачкой (0,1—5,8 м) тонко-слоистых глинистых и доломитистых известняков, содержащих массивные брекчиевидные кремни. Нижний пласт мощностью до 12 м (в среднем 3,9 м) сложен рудами, содержащими 19,4—35,9% P_2O_5 . Внутри пласта имеются линзы и пропластки известняков, кремней и доломитов. На большей части площади месторождения этот пласт имеет непромышленную мощность (менее 0,5 м). Верхний пласт по сравнению с нижним отличается более выдержанной мощностью (в среднем 3,7 м). Содержание P_2O_5 в рудах пласта изменяется от 19,4 до 34,8%.

Фосфоритовые руды сложены на 50—90% фосфатными зернами размером 0,1—2 мм, сцементированными карбонатным или кремнисто-карбонатным материалом. Отмечается примесь костно-детрита в количестве 5—10%.

Фосфоритоносный горизонт перекрыт маастрихтскими глинистыми известняками, содержащими маломощные (0,3—0,6 м) пласты зернистых фосфоритов, сменяющихся пачкой желтых глин и горизонтом (6—16 м) устричников. Выше располагается второй фосфоритоносный горизонт (28 м), сложенный глинами и известняками, с непромышленными пластами фосфоритов (мощность 0,1—0,9 м; P_2O_5 16—18%).

На месторождении Восточное (см. рис. 8), расположенном к юго-востоку от месторождения Кнейфис, выделяется 20-метровый фосфоритоносный горизонт, залегающий на границе сантонских пелециподовых известняков и маастрихтских глинисто-доломитовых отложений. В составе горизонта наблюдается практически один пласт фосфоритовых руд, нижняя непромышленная часть которого (8—10 м) интенсивно насыщена линзами доломитов и глин. В основании пласта залегают гравелит-конгломератовые породы. Верхняя часть пласта (10—12 м) сложена почти нацело зернистыми глинисто-карбонатными фосфоритовыми рудами с содержанием P_2O_5 17—33% (в среднем 24,5%).

На месторождении Ерхейм продуктивный фосфоритоносный горизонт сложен тремя пластами зернистых фосфоритовых руд мощностью 0,8—2 м каждый, содержащих 17—31,9% P_2O_5 . Он располагается на контакте кремнисто-карбонатных (верхний кампан) и глинисто-карбонатных (нижний маастрихт) отложений. Среди перекрывающих горизонт маастрихтских глауконитовых известняков имеются незначительные скопления желваковых фосфоритов.

Известные в других частях района мелкие месторождения кампан-маастрихтского возраста не имеют промышленного значения.

Типичным месторождением палеогенового возраста в Сирийском районе является Хбари. Продуктивный фосфоритоносный горизонт на этом месторождении приурочен к нижнеэоценовым кремнисто-карбонатным отложениям, представленным известняками и кремнями. Мощность горизонта 5—11 м (рис. 10). В его составе установлено до семи пластов фосфоритовых руд мощностью

от 0,8 до 1,9 м с содержанием P_2O_5 24,8%, из которых лишь два являются промышленными. По составу различают кремнистые и кремнисто-карбонатные фосфоритовые руды. Среди кремней и известняков перекрывающих фосфоритоносный карбонатных отложениях среднего и верхнего эоцена встречены мелководные желваковые фосфориты, имеющие промышленное значение.

Таким образом, среди фосфоритов рассматриваемого района выделяются два типа: зернистый и желваковый. Первые слагают продуктивные пласты разрезах кампан-маастрихтских эоценовых отложений; вторые встречаются в маастрихте, среднем и верхнем эоцене и промышленного значения не имеют.

Зернистые фосфоритовые руды представляют собой плотную, крепкую, но рыхлую породу светло-серого цвета, изредка с желтоватым или бурым оттенком. Составляют их фосфатные зерна различного размера: от 0,1 до 5 мм, чаще 0,2—0,5 мм. Присутствуют обломки костей рыб, зубы и чешуя акул, раковины, ролиты. По составу цементирующего материала различают карбонатные, кремнистые, кремнисто-карбонатные и реже фосфатные фосфоритовые руды. Кроме того, в зависимости от характера фосфатных компонентов различают следующие разновидности: собственно зернистые (50—85% фосфатного вещества, 30% кремнезема), оолитово-зернистые (50—85% фосфатного вещества, 20% кремнезема) и зернисто-детритовые (50—85% фосфатного вещества, 20% кремнезема). Фосфатное вещество представлено скрытокристаллической и радиально-лучистой чистой разновидностями. По характеру химических и рентгеновских анализов оно определено как натриумфосфат со следующими параметрами кристаллической решетки: $a = 6,88 \text{ \AA}$. В фосфоритах содержатся также стронция и редких земель соединения, а также кларки в осадочных горных породах.

от 0,8 до 1,9 м с содержанием P_2O_5 16,3—24,8%, из которых лишь два признаны промышленными. По составу цемента различают кремнистые и кремнисто-карбонатные фосфоритовые руды. Залегают они среди кремней и известняков. В перекрывающих фосфоритоносный горизонт карбонатных отложениях среднего и верхнего эоцена встречаются мелкие скопления желваковых фосфоритов, не имеющие промышленного значения.

Таким образом, среди фосфоритов рассматриваемого района выделяется два типа: зернистый и желваковый. Первые слагают продуктивные пласты в разрезах кампан-маастрихтских и нижнеэоценовых отложений; вторые известны в маастрихте, среднем и верхнем эоцене и промышленного значения не имеют.

Зернистые фосфоритовые руды представляют собой плотную, крепкую, иногда рыхлую породу светло-серого и серого цвета, изредка с желтовато-коричневым или бурым оттенком. Состоят они из фосфатных зерен различного размера: от 0,1 до 5 мм, чаще 0,2—0,3 мм. Присутствуют обломки костей, позвонков рыб, зубы и чешуя акул, редко копrolиты. По составу цемента выделяются карбонатные, кремнистые, кремнисто-карбонатные и реже фосфатно-карбонатные фосфоритовые руды. Кроме того, по характеру фосфатных компонентов различаются следующие разновидности руд: собственно зернистые (50—85% от всей массы руд), оолитово-зернистые (10—30%) и зернисто-детритусовые (8—20%). Фосфатное вещество представлено скрытокристаллической и радиально-лучистой разновидностями. По результатам химических и рентгеноструктурных анализов оно определено как фторкарбонатапатит со следующими параметрами кристаллической решетки: $a=9,32 \text{ \AA}$, $c=6,88 \text{ \AA}$. В фосфоритах содержание ванадия, стронция и редких земель превышает кларк в осадочных породах.

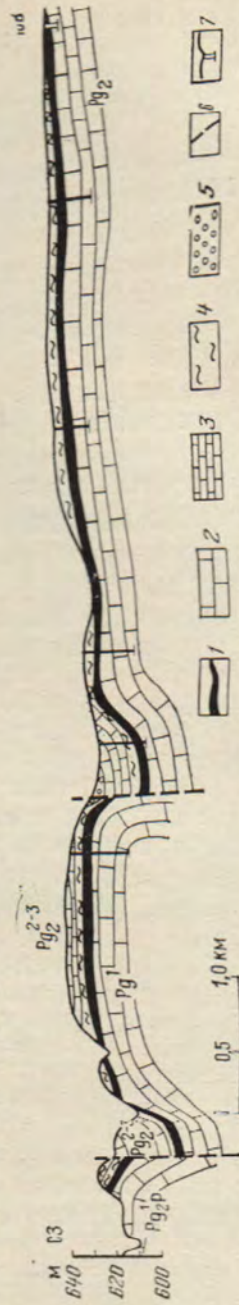


Рис. 10. Геологический разрез месторождения Хбари [Покрышкин В. И., 1971].

1 — продуктивный горизонт; 2 — среднеэоценовые известняки; 3 — тонко слоистые известняки; 4 — кремнистые породы; 5 — рыхлые образования; 6 — тектоническое возмущение; 7 — шурф

дах. Кроме того, они обладают повышенной радиоактивностью (содержат от 0,06 до 0,01% U_3O_8).

Зона Пальмирид, где находятся главнейшие месторождения района, в тектоническом отношении представляет собой узкую внутриплатформенную структуру, расположенную в пределах внешней, подвижной части северного склона Африкано-Аравийской платформы [Тектоника..., 1964], на месте которой в мезокайнозойе длительно развивался прогиб. В результате тектонических движений в сенон-палеогеновое время сформировались отдельные конседиментационные структуры, в которых локализовались богатые залежи зернистых фосфоритовых руд месторождений Кнейфис, Восточное и Ерхейм. Наиболее мощные высококачественные пласты фосфоритовых руд (Кнейфис, Восточное) располагаются на крыльях конседиментационных брахиантиклиналей размером 7×40 км. Уменьшение мощности продуктивных пластов, вплоть до их выклинивания, а также замещение их известняками и кремнистыми породами наблюдаются в направлении к центральным частям синклиналей и сводам антиклиналей.

Фосфориты Сирийского района образовывались в мелководной зоне шельфа эпиконтинентального моря Тетис во время погружения платформенного склона Африкано-Аравийской платформы в конце позднего мела.

На территории Иракского района месторождения Рутба и Акашат приурочены к палеогеновым терригенно-карбонатным отложениям (см. рис. 8), залегающим с размывом и угловым несогласием на триас-сенонских осадочных породах.

Палеогеновые фосфоритоносные отложения относятся к верхней части свиты «Белька», подразделяющейся на месторождения Рутба на четыре пачки [Agambourg С. е. а., 1959]. Нижняя пачка (35 м), сложенная конглобрекциями, известняками и кремнями, содержит в основании пласт фосфоритовых руд [Фадли И. Д., 1965]. Мощность пласта 0,5—2 м, содержание P_2O_5 17,5—21%. Вторая пачка (24 м) состоит из известняков с кремнистыми прослоями, ракушечников, песчаников и глин. В ее составе выделяется пласт фосфоритовых руд мощностью 1,2—6 м с содержанием P_2O_5 10—27%, залегающий на известняках-ракушечниках. Третья (14 м) пачка представлена в основании глинистыми ракушечниковыми известняками с пластом фосфоритовых руд мощностью 0,3—3 м, содержащих 17—21% P_2O_5 . Четвертая, верхняя, пачка (32 м) сложена известняками с редкими прослоями кремней. В основании ее на ракушечниках лежит пласт мощностью 1—1,5 м фосфоритовых руд, содержащих 17—24% P_2O_5 .

На месторождении Акашат, в 100 км севернее от Рутбы, в составе фосфоритоносных кремнисто-карбонатных отложений палеогена (вероятно, нижнего эоцена) выявлено два пласта суммарной мощностью до 13,9 м зернистых фосфоритовых руд с содержанием (в %): P_2O_5 18,1—24,8; CaO 52,1; CO_2 16,3; MgO 0,5; Fe_2O_3 0,6; Al_2O_3 0,3; SO_3 1,59; F 2,35—2,85; Na_2O 0,5—1,66; Cl 0,14; H_2O 3,2—5,3; п.п. 18.

В Южно-Турецком районе изверженное к кампанским кремнисто-карбонатным породам приуроченное к кампанским кремнисто-карбонатным породам месторождение мощностью 40 м [Sheldon R. P., 1959] состоит из трех пластов мощностью 10, 15 и 15 м, содержащих от 10 до 20% P_2O_5 . Поверхности сенон-турецкого района размыты мергелями маастрихта (см. рис. 9). Этот район располагается к югу от субэпиконтинентального пояса, в краевой зоне Диярбыкырской антеклизы. Месторождение возникло в мелководной зоне поднятия, в условиях аридного климата.

Закономерности размещения зернистых фосфоритовых руд

Стратиграфические закономерности размещения зернистых фосфоритовых руд в Сирийской провинции намечается стратиграфическая зональность размещения промышленных месторождений фосфоритовых руд. В веро-западе в основном к палеогеновому и маастрихтовому ярусам, в восточной части — к эоценовому. Эти закономерности имеют место в бассейне Тетис, простиравшемся в частности в Среднюю Азию, где месторождения зернистых и желваковых фосфоритовых руд.

В пределах каждого бассейна наблюдается то или иное возрастные закономерности. В Сахарском бассейне омоложение происходит с севера на юг (Бу-Краа, в Марокканском отмечается обратные закономерности в основном маастрихтовом ярусе (др.), в центре — маастрихт-эоценовый (др.), на севере нижнеэоценовый). В сирийском бассейне на севере фосфоритовых руд в юрском и ипрскому ярусам (др.) — преимущественно к югу (др.), т. е. в южном направлении. В Египетском бассейне рудам не отмечается временной зональности. Однако здесь наблюдается своеобразные закономерности размещения фосфоритовых руд, в частности в юрском и особенно на юге — позднесенонском. В Средиземноморском бассейне размещение месторождений происходит в маастрихте до среднего эоцена.

В приведенных примерах закономерности размещения фосфоритовых руд обусловлены фосфоритоносности, поскольку непер-

В Южно-Турецком районе известно месторождение Мардин, приуроченное к кампанским кремнисто-карбонатным отложениям мощностью 40 м [Sheldon R. P., 1964]. Фосфоритоносный горизонт состоит из трех пластов мощностью 1—3 м зернистых фосфоритовых руд, содержащих от 10 до 20% P_2O_5 . Горизонт залегает на размытой поверхности сенон-туронских известняков и перекрывается мергелями маастрихта (см. рис. 8). В тектоническом отношении район располагается к югу от Средиземноморского геосинклинального пояса, в краевой зоне платформы, на северо-западном крыле Диярбыкырской антеклизы. Образование фосфоритов происходило в мелководной зоне, протягивавшейся вдоль склонов поднятия, в условиях аридного климата.

Закономерности размещения месторождений зернистых фосфоритовых руд

Стратиграфические закономерности. Для Африкано-Аравийской провинции намечается стратиграфическая приуроченность промышленных месторождений фосфоритовых руд на западе и северо-западе в основном к палеогену, а на востоке — к кампанскому и маастрихтскому ярусам, в меньшей степени к палеоцену и эоцену. Эти закономерности имеют важное значение для всего палеобассейна Тетис, простиравшегося и на территорию СССР, в частности в Среднюю Азию, где известны проявления и месторождения зернистых и желваковых фосфоритовых руд этого же возраста.

В пределах каждого бассейна максимум фосфоритоносности испытывает то или иное возрастное скольжение. Так, в Западно-Сахарском бассейне омоложение продуктивных отложений происходит с севера на юг (Бу-Краа, палеоцен; Таиба, средний эоцен); в Марокканском отмечается обратная картина — на юге распространены в основном маастрихтские месторождения (Мескала и др.), в центре — маастрихт-палеоценовые (Юссуфия, Бен-Герир), на севере нижнеэоценовые (Хурибга и др.). В Алжиро-Тунисском бассейне на севере фосфоритовые руды приурочены к танетскому и ипрскому ярусам (М'Зайта, Калаа-Джерда), а на юге — преимущественно к ипрскому (Моуларес, Редейеф и др.), т. е. в южном направлении идет омоложение фосфоритоносных горизонтов. В Египетском бассейне по имеющимся материалам не отмечается временного скольжения фосфоритоносности. Однако здесь наблюдается своеобразное омоложение подстилающих отложений, в частности пород нубийского комплекса, которые на севере бассейна имеют юрско-раннемеловой возраст, а в центре и особенно на юге — позднесенонский [Said R., 1971₂]. В Восточно-Средиземноморском бассейне изменение возрастного положения месторождений происходит в восточном направлении от кампан-маастрихта до среднего эоцена.

В приведенных примерах имеется в виду только максимум фосфоритоносности, поскольку непромышленные залежи известны в

этих бассейнах в разрезах большинства ярусов верхнего мела, палеоцена и эоцена, начиная от сантона и кончая средним эоценом. Особенности стратиграфического положения продуктивных образований обусловлены миграцией зон интенсивного фосфатонакопления во времени в зависимости от изменения тектонического режима, палеогеографической обстановки и других причин.

Таким образом, главной стратиграфической закономерностью, контролирующей размещение месторождений зернистых фосфоритовых руд в Африкано-Аравийской провинции, является приуроченность их к кампан-маастрихтским и палеоцен-эоценовым отложениям. Наиболее продуктивными стратиграфическими уровнями в бассейнах являются следующие ярусы: для Западно-Сахарского — монтский и лютетский; для Марокканского — маастрихтский, монтский и ипрский; для Алжиро-Тунисского — танетский и ипрский; для Египетского — кампанский и маастрихтский; для Восточно-Средиземноморского — кампанский, маастрихтский, а также некоторые ярусы палеоцена и нижнего эоцена.

Литологические закономерности. Литологические ассоциации пород, или парагенезисы, по Н. С. Шатскому [1955], с которыми связаны фосфориты рассматриваемого типа, обнаруживают некоторые общие черты для всей Африкано-Аравийской провинции. В каждом из бассейнов литологические закономерности имеют свои особенности, обусловленные тектоническими и палеогеографическими условиями фосфоритообразования [Покрышкин В. И. и др., 1968; Покрышкин В. И., 1970, 1971].

Впервые формационный анализ фосфоритоносных отложений Африки и Ближнего Востока выполнил Н. С. Шатский. Он выделил на этой огромной территории группу фосфоритоносных терри-

генно-карбонатных формаций. Нелиза отложений мела и палеоценоносной провинции позволяют Н. С. Шатского.

Платформенный осадочный члороитоносных бассейнов предлорно-регрессивный мел-палеоценомотором снизу вверх выделяется сформаций: терригенная → карбонатно-кремнисто-карбонатная → эвапоритовая. Все эти формации отделяются друг от друга скачками или биостратиграфическими границами и перерывами. В каждой формации имеют те или иные особенности строения состава, мощности, в различных случаях — появлением или отсутствием фосфоритов. Фосфоритоносная терригенно-карбонатная также в определенной мере имеет скачки в разных бассейнах в ее отдельные субформации: терригенно-карбонатная в Восточно-Средиземноморском и Алжиро-Тунисском бассейнах и кремнисто-карбонатная в Западно-Сахарском бассейне (табл. 18).

Фосфоритоносная формация в вертикальном ряду осадочных пород имеет возрастную границу определяется в Восточном Востоке провинции (Восточно-Средиземноморском).

Схема вертикальных взаимоотношений формаций и субформаций

Основной типовой вертикальный ряд формаций провинции	Ряды субформаций в отдельных бассейнах	
	Западно-Сахарский	Марокканский
Карбонатно-терригенная эвапоритовая	Терригенная эвапоритовая, P _{g2} ³ -N ₁ , 50—100 м	Терригенная, P _{g3} -N ₁ , 100—150 м
Фосфоритоносная терригенно-кремнисто-карбонатная	Фосфоритоносная глинисто-кремнисто-карбонатная, P _{g1} -P _{g2} ² , 89 м	Фосфоритоносная глинисто-кремнисто-карбонатная, C _{r2} ⁶ -P _{g2} ² , 20—300 м
Карбонатная	Глинисто-карбонатная, C _{r2} , 600—800 м	Карбонатная, C _{r2} ¹⁻² , 200 м
Терригенная	Терригенная, J-C _{r1} , 500 м	Терригенная, C _{r1} , 200 м

Африкано-Аравийской фосфоритоносной

бассейнах, их возраст и мощность

Алжиро-Тунисский	Египетский
Терригенная эвапоритовая, P _{g3} -N ₁ , 100—150 м	Карбонатная эвапоритовая, N, 200—1000 м
Терригенно-карбонатная, P _{g2} ² -P _{g2} ³ , 200 м	Фосфоритоносная терригенно-кремнисто-карбонатная, P _{g1} ² -P _{g2} ¹ , 20—90 м
Фосфоритоносная терригенно-карбонатная, C _{r2} ¹⁻⁷ , 600—1000 м	Вулканико-терригенная (и др.), C _{r2} , 100—500 м
Терригенная, C _{r1} , 500 м	

генно-карбонатных формаций. Новые данные формационного анализа отложений мела и палеогена Африкано-Аравийской фосфоритоносной провинции позволяют развить дальше представления Н. С. Шатского.

Платформенный осадочный чехол в пределах описанных фосфоритоносных бассейнов представляет собой единый трансгрессивно-регрессивный мел-палеогеновый седиментационный цикл, в котором снизу вверх выделяется следующий вертикальный ряд формаций: терригенная → карбонатная → фосфоритоносная терригенно-кремнисто-карбонатная → эвапоритовая карбонатно-терригенная. Все эти формации отделяются друг от друга четкими литологическими или биостратиграфическими контактами, угловыми несогласиями и перерывами. В каждом из бассейнов этот общий ряд имеет те или иные особенности, которые обуславливаются изменением состава, мощности, возраста формаций, а в отдельных случаях — появлением или выпадением некоторых формаций. Фосфоритоносная терригенно-кремнисто-карбонатная формация также в определенной мере изменяет свой состав, и по этому признаку в разных бассейнах в ее составе могут быть выделены отдельные субформации: терригенно-кремнисто-карбонатная в Восточно-Средиземноморском и Алжиро-Тунисском бассейнах, глинисто-кремнисто-карбонатная в Западно-Сахарском и Марокканском бассейнах и кремнисто-терригенно-карбонатная в Египетском бассейне (табл. 18).

Фосфоритоносная формация занимает среднее положение в вертикальном ряду осадочных формаций провинции. Ее нижняя возрастная граница определяется сантон-кампанским временем на востоке провинции (Восточно-Средиземноморский бассейн). Верх-

Африкано-Аравийской фосфоритоносной провинции

Таблица 18

бассейнах, их возраст и мощность		
Алжиро-Тунисский	Египетский	Восточно-Средиземноморский
<p>Терригенная эвапоритовая, Pg_3-N_1, 100—150 м</p> <p>Терригенно-карбонатная, $Pg_2^2-Pg_2^3$, 200 м</p> <p>Фосфоритоносная терригенно-кремнисто-карбонатная, $Pg_1^2-Pg_2^1$, 20—90 м</p> <p>Гипсоносная терригенно-карбонатная, Cg_2^{1-7}, 600—1000 м</p> <p>Терригенная, Cg_1, 500 м</p>	<p>Карбонатно-терригенная, эвапоритовая, Pg_3-N, 200—1000 м</p> <p>Фосфоритоносная кремнисто-терригенно-карбонатная $Cg_2^{5-6}-Pg_2^1$</p> <p>Вулканогенно терригенная (нубийская), $J-Cg_2$, 100—500 м</p>	<p>Карбонатно-терригенная эвапоритовая, Pg_3-N, 200—1000 м</p> <p>Фосфоритоносная терригенно-кремнисто-карбонатная, $Cg_2^4-Pg_2^3$, 100—800 м</p> <p>Гипсоносная карбонатная, Cg_2^{1-2}, 200—900 м</p> <p>Терригенная, Cg_1,</p>

няя граница соответствует в основном нижнему — среднему эоцену, смещаясь в некоторых бассейнах (Алжиро-Тунисский, Восточно-Средиземноморский) в верхний эоцен. Залежи фосфоритовых руд в большинстве случаев приурочены к основанию и верхним частям фосфоритоносной формации.

Во всех бассейнах вертикальные ряды начинаются терригенной формацией, сложенной главным образом кварцевыми железистыми песчаниками и глинами, включающими залежи осадочных железных руд и каолина (Египетский и Восточно-Средиземноморский бассейны). Эта формация характеризует этап региональной регрессии с преобладающим лагунно-континентальным осадконакоплением, прерывавшимся местами (Египетский бассейн) излияниями плато-базальтов, которые затем подверглись интенсивному латеритному выветриванию.

Выше терригенной почти повсеместно располагается карбонатная (известняки и доломиты) формация, содержащая местами горизонты гипсов и очень редко небольшие скопления желваковых фосфоритов. Ее формирование связано с крупной верхнемеловой трансгрессией, охватившей краевые зоны Африкано-Аравийского континента, из которого лишь большая часть Аравийско-Нубийского щита оставалась приподнятой. Об этом свидетельствуют накопившиеся здесь в течение сеноман-турона и сенона глинисто-песчаные осадки верхней части нубийского комплекса [Said R., 1971₂].

С новым трансгрессивным этапом в сенон-палеогеновое время, происходившим в обстановке активизации дифференцированных тектонических движений краевых платформенных зон, связано формирование весьма пестрого парагенеза пород фосфоритоносной терригенно-кремнисто-карбонатной формации и входящих в нее субформаций. Особенно ярко разнообразие литологических ассоциаций проявляется в фосфоритоносных горизонтах, составляющих от 10 до 50—60% разреза субформаций. В фосфоритоносном горизонте Западно-Сахарского бассейна пласты фосфоритовых руд ассоциируют в Западной Сахаре преимущественно с кремнистыми и глинистыми породами, а в Сенегале — с карбонатными и глинистыми. В Марокканском бассейне фосфоритоносный горизонт представлен преимущественно карбонатными породами (известняками, мергелями), составляющими от 54 до 100% общей мощности вмещающих фосфоритовые руды пород. В ассоциации с карбонатными находятся кремнистые породы, содержащиеся иногда в значительных количествах, как, например, в районе фосфатного плато (до 34%). Терригенные породы здесь почти отсутствуют, и лишь на месторождениях южного (Мескала) и центрального (Гантур) районов, где они представлены главным образом глинистыми породами, их количество достигает 33% при подчиненном положении кремней. Алжиро-Тунисский бассейн отличается от Марокканского несколько повышенной ролью терригенных пород в разрезах продуктивных горизонтов. Относительное количество пород в фосфоритоносных горизонтах бассейна изменяется в сле-

дующих пределах (в %): карбонатные породы 0—25; гипсы 0—

На западе Египетского бассейна состав кремнисто-терригенно-карбонатной формации изменяется, в ней встречаются монтмориллонитовые глины, а также известняки. На долю карбонатных пород (известняки) приходится лишь 5—10%. Продуктивный пласт фосфоритовых руд имеет значительную мощность. В Центральном (долина р. Нил) и Восточном (Красного моря) районах Египетского бассейна фосфоритоносной субформации наблюдаются известняки, часто глинистые, и встречаются слои кремнистых пород, в которых сравнительно маломощные залежи железных руд. Количество же терригенных пород незначительно.

В Восточно-Средиземноморском бассейне фосфоритоносной субформации сходен с западным бассейном и Красноморского района. Здесь играют роль карбонатные породы, в основном разнообразными известняками. В разрезе субформации на 90% состоят кремнистые породы, сложенные известняками (до 2—5 м) слоями, подстилающими фосфоритовые руды. Глинистые породы составляют 10—20%. В Восточном районе на месторождении Восточного района характерно появление в составе фосфоритовых руд глауконитовых известняков, слои которых содержат фосфориты. Известняки, как правило, являются продуктивными горизонтами.

Карбонатные породы (главным образом известняки и доломиты) наиболее распространены во всех фосфоритоносных субформациях. Их количество изменяется с юга на север, достигая максимума в Алжиро-Тунисском и Восточно-Средиземноморском бассейнах. В Восточном Средиземноморском бассейне увеличение роли карбонатных пород связано с погружавшихся краевых частях формации. В этом же направлении наблюдается увеличение мощности, выклинивание песчано-глинистых пород и увеличение мощности фосфоритовых горизонтов.

По мере приближения к геосинклинальным областям (в частности, к геосинклинали Красного моря) в рассматриваемой формации наблюдается увеличение мощности органогенных фосфоритовых руд, что, возможно, связано с проявлением фосфоритовых руд мел-палеогенового возраста на юге

дующих пределах (в %): карбонатные 67—94; кремни 0—30, терригенные породы 0—25; гипсы 0—16.

На западе Египетского бассейна (месторождение Абу-Тартур) состав кремнисто-терригенно-карбонатной фосфоритоносной субформации изменяется, в ней начинают преобладать бейделлит-монтмориллонитовые глины, количество которых достигает 65%. На долю карбонатных пород (мергели, глинистые и доломитовые известняки) приходится лишь 5—10%. В этой ассоциации пород продуктивный пласт фосфоритовых руд месторождения Абу-Тартур имеет значительную мощность (до 10 м, в среднем 4,2 м). В Центральном (долина р. Нил) и Восточном (западное побережье Красного моря) районах Египетского бассейна в составе фосфоритоносной субформации наблюдается заметное увеличение роли известняков, часто глинистых и органогенных (устричных) и появление слоев кремнистых пород, подстилающих или перекрывающих сравнительно маломощные (до 1,5—2 м) пласты фосфоритовых руд. Количество же терригенных пород резко уменьшается.

В Восточно-Средиземноморском бассейне состав фосфоритоносной субформации сходен с составом таковой Марокканского бассейна и Красноморского района Египетского бассейна. Главную роль здесь играют карбонатные породы, представленные в основном разнообразными известняками, которые составляют 50—90% разреза субформации. На втором месте по распространению стоят кремнистые породы, слагающие часто сравнительно мощные (до 2—5 м) слои, подстилающие или разделяющие пласты фосфоритовых руд. Глинистые породы имеют подчиненное значение, количество их в разрезе 0—20%. Наиболее развиты они в Сирийском районе на месторождении Восточное. Для этого района характерно появление в составе фосфоритоносной субформации слоев глауконитовых известняков, содержащих сгруженные желваки фосфоритов. Известняки, как правило, располагаются в кровле продуктивных горизонтов.

Карбонатные породы (главным образом известняки, мергели, меньше доломиты) наиболее распространены в разрезах почти всех фосфоритоносных субформаций провинции. Количество их изменяется с юга на север, достигая максимума в Марокканском, Алжиро-Тунисском и Восточно-Средиземноморском бассейнах, т. е. увеличение роли карбонатных пород происходит в направлении Средиземноморского геосинклинального пояса, в сторону наиболее погружавшихся краевых частей Африкано-Аравийской платформы. В этом же направлении отмечается сокращение продуктивности, выклинивание песчано-глинистых и гипсоносных горизонтов и увеличение мощности фосфоритоносной формации.

По мере приближения к геосинклинальному поясу или к другим мобильным районам (например, к рифтовой впадине Красного моря) в рассматриваемой формации фиксируется заметное увеличение мощности органогенных и хемогенных кремнистых пород, что возможно связано с проявлением северного видоизменен-

режье Красного моря. Терригенные породы (глины, алевролиты, песчаники, конгломераты) в составе фосфоритоносной формации в большинстве бассейнов распространены незначительно. И лишь только на севере Западно-Сахарского, западе Египетского и в ряде районов Восточно-Средиземноморского бассейнов они входят в число основных породных компонентов. Это объясняется близостью разматываемых районов к областям сноса терригенного материала: в первом случае — Регибатского, во втором — Аравийско-Нубийского щита. В большинстве случаев увеличение содержания терригенных пород в составе фосфоритоносной формации сопровождается ухудшением качества фосфоритов и уменьшением мощности продуктивных горизонтов, что наблюдается, например, в районе долины р. Нил в Египетском бассейне, т. е. по существу они являются разубоживающим компонентом.

Приведенные ранее данные свидетельствуют, что количество и качество, а также мощность фосфоритовых руд изменяются вместе с изменением состава ассоциирующих с ними пород, который зависит от положения на фаціальном профиле. В сторону мелководья руды выклиниваются, замещаясь терригенными породами, органогенными (устричными) известняками, фосфатными мергелями, содержащими редкие желваки и зерна фосфоритов, иногда глауконит. В противоположном направлении параллельно увеличению роли карбонатных пород сокращается мощность продуктивных пластов, фосфориты и руды становятся карбонатными, содержание P_2O_5 в них уменьшается и, наконец, они вместе с терригенными и кремнистыми породами целиком замещаются карбонатными породами.

Из других пород в составе фосфоритоносной формации местами, например, в Алжиро-Тунисском бассейне, присутствуют гипсы. Многие исследователи считают гипсы, в частности Египетского бассейна, гипергенными образованиями.

Располагающиеся выше фосфоритоносной формации непродуктивные верхнепалеогеновые — неогеновые отложения входят в состав преимущественно эвапоритовой карбонатно-терригенной формации, знаменующей собой регрессивный режим осадконакопления. Развитые в составе неогеновых отложений желваковые фосфориты (Алжир, Египет) распространены весьма ограниченно и не образуют месторождений промышленного значения.

Геотектонические закономерности. Африкано-Аравийская фосфоритоносная провинция располагается вдоль западной и северной окраин древней Африкано-Аравийской платформы на границе с геосинклинальной областью Тетис [Шубер Ю. А., Фор-Мюре А., 1967, 1973; Хаин В. Е., 1971]. Эта пограничная зона характеризовалась переходным геотектоническим режимом, обусловленным образованием серии положительных (антеклизы) и в большем количестве отрицательных (синеклизы и внутриплатформенные прогибы) структур. В целом окраинная часть Африкано-Аравийской платформы в мел-палеогеновое время испытала значительное погружение, и в отдельных частях она может быть отнесена к

структурам перикратонного типа. Они полагаются в пределах области Африкано-Аравийской платформы (как и в пределах бассейнов продуктивных) локализуются на склонах прогибов [исследователи [Bentor J. K., 1962; Хаин В. И., 1971; и др.] констатируют месторождений к более мелким и синклинального и антиклинального типах месторождения размещаются в прогибах и характеризуются практически исключительно слабоскладчатым залеганием. Дислоцированные фосфориты в этих месторождениях, которые приурочены к прогибам (месторождения Орон в долине р. Нил в Египте) либо находятся вблизи зон разрыва (месторождения в долине р. Нил в Египте, Красного моря, Египет).

Месторождения фосфоритовых руд на юге Западно-Сахарского бассейна в структуре северо-восточного крыла прогиба имеют сложную структуру. В структуре этого бассейна выделяется восточное крыло синеклизы, которое сочленяется с Регибатским массивом [Хаин В. Е., 1971]. Наиболее крупные месторождения приурочены к синклинальным ограниченным массивами герцинистическом бассейне основные месторождения поднятий Батна и Кассерия (Табесса) и на крыльях синеклизы Джебель-Онк — Гафса).

Структуры более мелкого масштаба образуются в виде синклинальных структур, например, синеклизы Джебель-Онк в Алжире. Пласты фосфоритовых руд залегают на крыльях двух складок. В сторону сокращения числа пластов фосфоритов, а сокращаются (до 0,1—1 м), а с увеличением числа продуктивных пластов сокращается выклинивания.

В Восточно-Средиземноморском бассейне месторождений более развиты в юго-восточной границе Синайского полуострова в зоне его сочленения с западным крылом меридионального простирания. Выделяются месторождения Иорданского бассейна Эль-Хаса, Русейфа и др. В сторону

структурам перикратонного типа. Фосфоритоносные бассейны располагаются в пределах области перикратонных опусканий Африкано-Аравийской платформы (как древней, так и современной). В пределах бассейнов продуктивные фосфоритоносные отложения локализуются на склонах прогибов (синеклиз) и поднятий. Многие исследователи [Bentor J. K., 1952; Youssef M. J., 1958; Покрышкин В. И., 1971; и др.] констатируют приуроченность главных месторождений к более мелким конседиментационным структурам синклинального и антиклинального типов. В современных структурах месторождения размещаются на крыльях брахиантиклиналей и характеризуются практически недислоцированным или относительно слабоскладчатым залеганием фосфоритоносных отложений. Дислоцированные фосфоритоносные отложения свойственны тем месторождениям, которые приурочены к внутриплатформенным прогибам (месторождения Орон и др. в Израиле, Кнейфис в Сирии) либо находятся вблизи зон рифтогенеза (западное побережье Красного моря, Египет).

Месторождения фосфоритовых руд Сенегала, расположенные на юге Западно-Сахарского бассейна, размещаются в синклинальной структуре северо-восточного простирания. Крупнейшее месторождение этого бассейна Бу-Краа в Западной Сахаре располагается на восточном крыле синеклизы или впадины Айюн, в зоне ее сочленения с Регибатским массивом фундамента [Alia Medina M., 1971]. Наиболее крупные месторождения Марокканского бассейна приурочены к синклиналям субширотного простирания, ограниченными массивами герцинского фундамента. В Алжиро-Тунисском бассейне основные месторождения локализуются на склонах поднятий Батна и Кассерин (месторождения района Сетиф-Тебесса) и на крыльях синеклизы Негрин (месторождения района Джебель-Онк — Гафса).

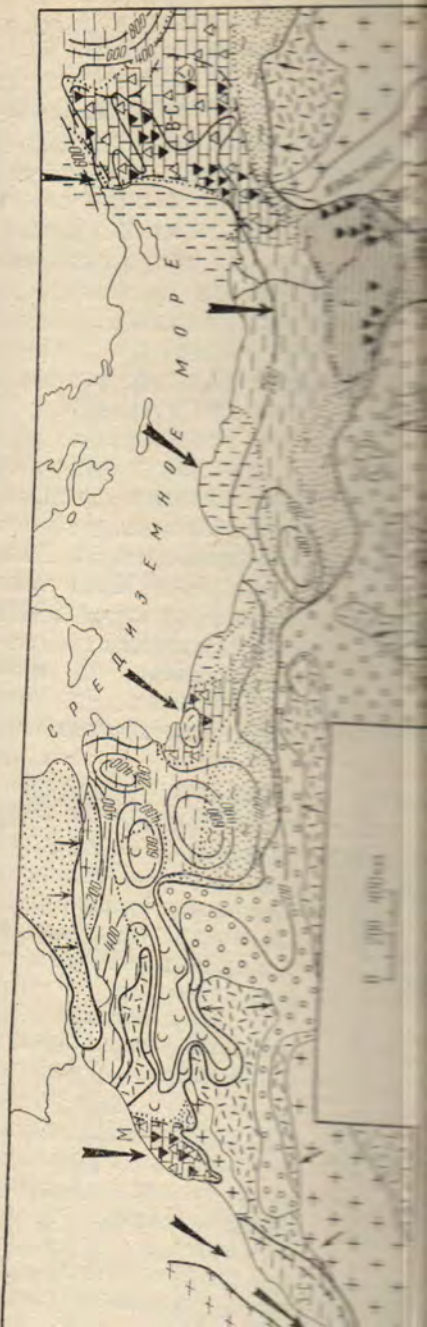
Структуры более мелкого порядка — брахиантиклинальные и мультискладчатые синклинальные складки — являются конседиментационными, например, синклиналь Блед Дজেма с месторождением Джебель-Онк в Алжире. Пласты фосфоритов здесь залегают на крыльях двух складок. В сторону ядер синклиналей мощность фосфоритоносного горизонта повышается с одновременным увеличением числа пластов фосфоритов, однако мощности их при этом сокращаются (до 0,1—1 м), а содержание P_2O_5 в рудах падает до 10—15% и ниже. В сторону ядер антиклиналей мощность и число продуктивных пластов сокращаются вплоть до полного их выклинивания.

В Восточно-Средиземноморском бассейне структурная приуроченность месторождений более разнообразна. Так, верхнемеловые месторождения Израильского района локализованы вдоль южной и юго-восточной границ Синайского внутриплатформенного прогиба в зоне его сочленения с

полагаются месторождения Сирийского и Иракского районов: кампан-маастрихтские (Кнейфис, Восточное, Ерхейм) — на склонах внутриплатформенного прогиба Пальмирид, а палеогеновые (Хбари, Рутба, Акашат) — на северо-западном склоне антеклизы Рутба. На юго-западном склоне этой антеклизы находятся месторождения Саудовско-Аравийского района: Западный Тханийет и Тураиф, приуроченные к крыльям синклинали северо-западного простирания.

Палеогеографические закономерности. По поводу палеогеографических условий формирования фосфоритовых руд провинции мнения большинства исследователей [Орлова Е. В., 1951; Visse L., 1952; Шатский Н. С., 1955; Salvan H., 1960; Фролов В. Г., 1969; Покрышкин В. И. 1970, 1971; Покрышкин В. И., Прокофьев С. С., 1974; Reeves M. I., Saadi T. A. K., 1971] сходятся лишь в том, что это типично морские, мелководные образования, возникшие в зоне подъема глубинных вод морского бассейна Тетис в процессе мел-палеогеновой трансгрессии. На территории Африкано-Аравийской провинции в конце мела и в палеогене существовал единый мелководный бассейн фосфоритонакопления, основная часть которого размещалась в зоне южного шельфа моря Тетис. В результате тектонических движений западная и северная области Африкано-Аравийской платформы, начиная с альбского времени, неоднократно покрывались морем. Пологий рельеф суши способствовал развитию обширной трансгрессии в течение сенона и палеогена, в результате которой формировались многочисленные мелководные банки, отмели, заливы, осложненные пологими островами (рис. 11, 12). Вдоль границы морского бассейна с континентом развивались пересыхающие лагуны и озера.

Палеогеографические схемы кампан-маастрихтского и палеоцен-нижнеоценового этапов показывают, что в палеобассейнах провинции существовал ряд литофациальных зон. Первая, прибрежно-морская зона, располагавшаяся вдоль границы бассейна, характеризовалась преимущественным накоплением песчано-глинистых и грубообломочных осадков. В сторону морского бассейна она сменялась прерывистой лагунно-морской зоной с преобладающим накоплением гипсоносных осадков и доломитов, которая особенно четко прослеживается на юге Алжиро-Тунисского бассейна, а также вдоль северной окраины Африканской палеосуши в Ливии. В следующей мелководно-морской зоне, охватывающей крупные заливы и проливы, ограниченные низкими островами и устричными банками, накапливались преимущественно карбонатные (известковые), кремнистые и, на отдельных участках с ограниченным привнесом терригенного материала, существенно фосфатные осадки. Эта «фосфатная» литофациальная зона постепенно сменялась более глубоководной зоной преимущественного накопления пелитоморфных карбонатных осадков с обильными остатками планктонных фораминифер [К...



ского районов:
ейм) — на скло-
а палеогеновые
клоне антеклизы
находятся место-
цный Тханиет и
северо-западного

оду палеогеогра-
ру провинции
В., 1951; Visse L.,
олов В. Г., 1969;
Прокофьев С. С.,
лишь в том, что
возникшие в зо-
Гетис в процессе
африкано-Аравий-
дествовал единый
овная часть кото-
етис. В результа-
области Африка-
времени, неодно-
ши способствовал
на и палеогена, в
нные мелководные
островами (рис. 11,
ентом развивались

хтского и палео-
в палеобассейнах
зон. Первая, при-
границы бассейна,
нием песчано-гли-
морского бассейна
ной с преобладаю-
нитов, которая осо-
нисского бассейна,
палеосуши в Ли-
ватывающей круп-
островами и уст-
венно карбоатные
стках с ограничен-
ственно фосфатные
постепенно сменя-
енного накопления
пльными остатками
В. А. и др.,

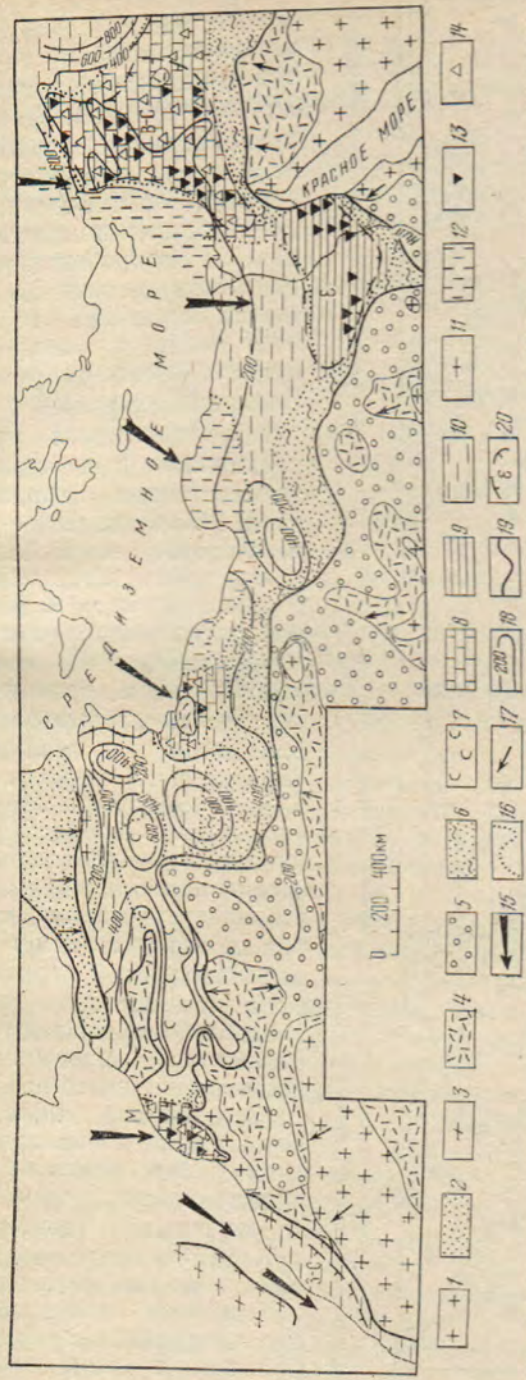


Рис. 11. Палеогеографическая карта Северной Африки и Аравии позднеченозояского этапа фосфатонакопления.

1 — область, низких и средних гор, подвергавшихся интенсивному размытию; 2 — область предполагаемого распространения относительно приподнятых кристаллических массивов (Тирренида), являющихся источником терригенного материала; 3 — область предполагаемой суши; 4 — внутриконтинентальные и приморские равнины и острова без существенного осадконакопления; 5 — область накопления континентальных и дельтовых терригенных осадков; 6 — прибрежная зона с накоплением глинисто-песчаных осадков; 7 — лагуны с накоплением эвапоритов (существенно гипсовый состав); 8 — мелководно-морской бассейн с накоплением глинисто-

кремнисто-карбонатных и фосфатных осадков; 9 — мелководный морской бассейн повышенной солёности с накоплением преимущественно карбонатно-глинистых и фосфатных осадков; 10 — мелководный морской бассейн с накоплением карбонатно-мергельных осадков; 11 — область накопления фациальных отложений; 12 — умеренно глубоководный открытый бассейн с накоплением пелито-морфных карбонатных осадков; 13 — фосфатные осадки; 14 — кристаллические осадки; 15 — направление апсидинга; 16 — граница фаций; 17 — направление сноса терригенного материала; 18 — изопакты; 19 — направление сноса фосфоритного материала; 20 — контур фосфоритного бассейна; М — Марокканский, 3-С — Западно-Сахарский, Е — Египетский, В-С — Восточно-Средиземноморский

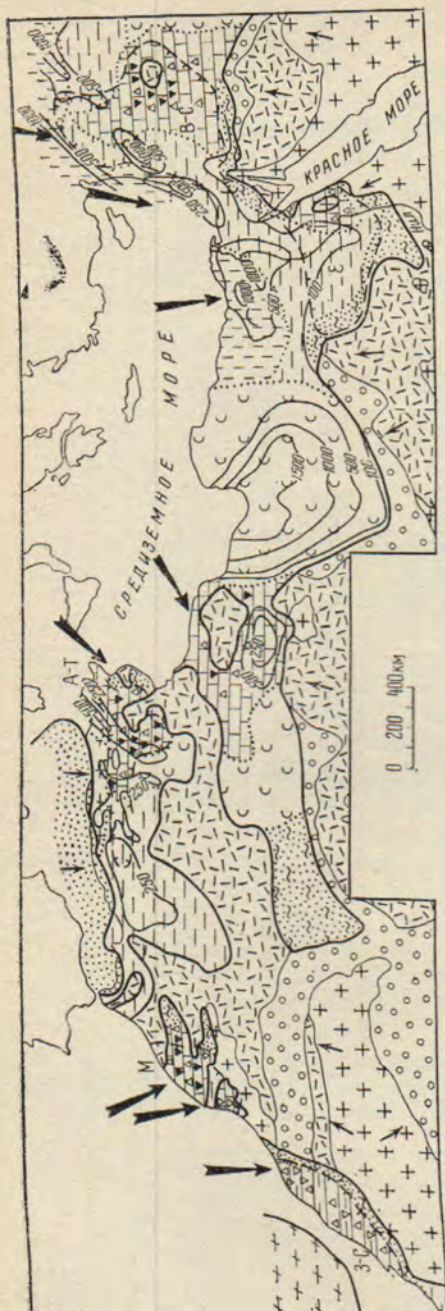


рис. 12. Палеогеографическая карта Северной Африки и Аравии палеоцен-нижнеэоценового этапа фосфатонакопления. Основные обозначения см. на рис. 11.

По положению продуктивных пластов в разрезах фосфоритоносных горизонтов (см. рис. 8) установлено, что зернистые фосфориты накапливались в начальные этапы трансгрессии (граница кампан-маастрихта, палеоцен и нижний эоцен), сопровождавшиеся размывом ранее отложившихся осадочных толщ, в том числе и эвапоритов триас-юрского возраста. В Западно-Сахарском бассейне трансгрессия распространялась в восточном и юго-восточном направлениях, в Марокканском — в северо-восточном, в Алжиро-Тунисском и Египетском — с севера на юг, а в Восточно-Средиземноморском — с северо-запада на юго-восток. Об этом свидетельствует почти повсеместно наблюдаемое омоложение фосфоритоносных горизонтов. Морские бассейны, в которых накапливались фосфориты, были заселены богатой фауной, что подтверждается постоянным присутствием в фосфоритоносных горизонтах скелетных остатков рептилий, рыб, моллюсков, губок, аммонитов, фораминифер, радиолярий, диатомей и др.

Залежи осадочных железных руд и каолиновых глин в подстилающих фосфоритоносную формацию терригенных отложений нубийского комплекса вместе со следами интенсивного латеритного выветривания ассоциирующихся с ними

и присутствие оолитовых железных руд ритоносные отложения средиземноморского Алжиро-Тунисского бассейна указывают существование на отдельных участках климата непосредственно до накопления.

Присутствие гипсов в начальной части горизонта свидетельствует о том, что фосфоритов и фосфоритовых руд накопление происходило в умеренном климате.

Существенное значение в формировании зернистых фосфоритовых руд имела размывавшаяся на ней порода. В Алжиро-Тунисском бассейне фосфоритов накопления фосфоритов существовали в Батна и Кассерин [Фролов В. Г., 1957]. Берега материковой суши были покрыты только ранее образовавшимися триасовыми породами и эвапоритами, которые широко распространены в Восточно-Средиземноморском бассейне. Залежи фосфоритов залегают на размываемых нижнемеловых, часто эвапоритовых отложениях, где находилась предельно размывавшиеся кембрийские и юрские осадочные породы. В Западно-Сахарском и Марокканском бассейнах фосфориты размывались пермскими и триасовыми породами.

Во всех бассейнах, за исключением Египетского, в осадочном материале был обнаружен значительный объем терригенного материала. В Египетском бассейне фосфориты залегают на кристаллическом щите (область скопления фосфоритов терригенных отложений — мраморы и кремнистые), разубоживающих их качество. По-видимому, благоприятным донным течением реализовывалась в Египетском бассейне крупная аккумуляция фосфоритов в Эль-Махамид. По такой же причине в Египетском бассейне наблюдается исключительное разнообразие форм фосфоритовых руд — от лит-конгломератовых.

Таким образом, формирование зернистых фосфоритовых руд контролируется географическими факторами, главные из них: 1) положение бассейна; 2) обилие и интенсивность размывающих пород; 3) пологий рельеф дна бассейна; 4) донные течения; 5) поднятиями.

ложению продук-
тастов в разрезах
носных горизон-
рис. 8) установле-
ернистые фосфори-
пывались в началь-
пы трансгрессии
кампан-маастрих-
цен и нижний эо-
сопровождавшиеся
ранее отложив-
адочных толщ, в
ле и эвапоритов
ского возраста. В
Сахарском бас-
ангрессия распро-
сь в восточном и
очном направлении
арокканском — в се-
точном, в Алжиро-
ом и Египетском —
на юг, а в Восточ-
иземноморском — с
апада на юго-вос-
этом свидетельст-
кти повсеместно на-
мое скольжение
кенне) фосфорито-
горизонтов. Морские
ы, в которых накап-
сь фосфориты, были
ы богатой фауной,
тврждается посто-
присутствием в фос-
носных горизонтах
ых остатков репти-
б, моллюсков, губок,
тов, фораминифер,
рий, диатомей и др.
ежи осадочных же-
руд и каолиновых
подстилающих фос-
носную формацию
нных отложениях
кого комплекса вмес-
ледами интенсивного
ного выветривания
рующих с ними ба-
ь, с одной стороны,

и присутствие оолитовых железных руд в перекрывающих фосфо-
ритоносные отложения среднеэоценовых образований на террито-
рии Алжиро-Тунисского бассейна (район Гафса) — с другой, до-
казывают существование на отдельных участках провинции гу-
мидного климата непосредственно до и после периода фосфатона-
копления.

Присутствие гипсов в некоторых разрезах фосфоритоносного
горизонта свидетельствует о том, что во время формирования
фосфоритов и фосфоритовых руд господствовал в основном арид-
ный климат.

Существенное значение в формировании богатых залежей зер-
нистых фосфоритовых руд имел рельеф суши и состав размывав-
шихся на ней пород. В Алжиро-Тунисском бассейне в момент на-
копления фосфоритов существовали два островных поднятия —
Батна и Кассерин [Фролов В. Г., 1969; Основные черты..., 1974].
Берега материковой суши были пологие, и размываться могли
только ранее образовавшиеся триас-юрские и меловые карбонат-
ные породы и эвапориты, выходы которых в настоящее время ши-
роко распространены южнее. Сходная картина наблюдается в
Восточно-Средиземноморском бассейне, где фосфоритоносные отло-
жения залегают на размытой поверхности триасовых, юрских и
нижнемеловых, часто эвапоритовых отложений. На востоке бас-
сейна, где находилась предполагаемая суша, обнажались и раз-
мывались кембрийские и юрские соленосные формации. В Запад-
но-Сахарском и Марокканском бассейнах в позднем мелу и палео-
гене размывались пермские и триасовые эвапоритовые образо-
вания.

Во всех бассейнах, за исключением Египетского, привнос тер-
ригенного материала был ограниченным, поскольку даже при на-
личии гористой суши размывались в основном эвапоритовые от-
ложения. В Египетском бассейне близость Аравийско-Нубийского
кристаллического щита обусловила накопление в зоне формирова-
ния фосфоритов терригенных отложений (наряду с карбонатны-
ми и кремнистыми), разубоживающих фосфоритовые руды и сни-
жающих их качество. По-видимому, благодаря исключительно ак-
тивным донным течениям реализовалась возможность образова-
ния в Египетском бассейне крупных месторождений типа Абу-Тар-
тур и Эль-Махамид. По такой же причине в этом бассейне наблю-
дается исключительное разнообразие структурно-текстурных раз-
новидностей фосфоритовых руд — от типично зернистых до гравел-
лит-конгломератовых.

Таким образом, формирование залежей высококачественных
зернистых фосфоритовых руд контролировалось рядом палеогео-
графических факторов, главные из них: 1) мелководность морско-
го бассейна; 2) обилие и интенсивное развитие морских организ-
мов; 3) пологий рельеф дна бассейна с небольшими впадинами и
поднятиями; 4) донные течения со скоростями, обеспечивающими
в процессе перемыва фосфатных осадков вынос пелитовой и тон-
коалевролитовой фракций и максимальную концентрацию фос-

фатного зернистого материала; 5) ограниченный привнос терригенного материала, что реализуется при условии или удаленности областей сноса, или эвапоритового и карбонатного состава размываемых отложений суши; 6) положение зоны фосфатонакопления между глубоководной карбонатной и лагунно-морской (осолоненной) фациями; 7) широкая непосредственная связь областей фосфатонакопления с глубоководным геосинклинальным бассейном; 8) относительно длительное существование аридного климата; 9) соответствующие геохимические параметры бассейновых и иловых вод, способствующие осаждению фосфатов и препятствующие растворению образующихся на дне фосфатных образований.

Геохимические закономерности. Образование и накопление фосфоритовых руд в бассейнах Африкано-Аравийской фосфоритоносной провинции происходили на фоне доминирующего отложения кремнисто-карбонатных осадков и при ограниченном поступлении терригенного материала. Этим обусловлены многие особенности в химическом и минеральном составе зернистых фосфоритовых руд. Главными компонентами фосфоритов, составляющих 90%, являются CaO , P_2O_5 , SiO_2 , MgO , CO_2 , SO_3 , F. На долю остальных компонентов приходится около 10%.

Одной из характерных особенностей химического состава зернистых фосфоритовых руд почти всех месторождений Африкано-Аравийской провинции является повышенное содержание SO_3 , чаще всего 1,5—3%, в отдельных случаях 4—5% (месторождение Зефа-Эфе, Израиль). Повышенное содержание SO_3 может быть вызвано присутствием натрийсульфатапатита в фосфатном веществе [Смирнов А. И., 1972]. Часть SO_3 входит в состав вторичного гипса и эпсомита, фиксируемых в цементе фосфоритовых руд.

Содержание фтора обычно находится в линейной зависимости от P_2O_5 и изменяется от 2,5 до 3%, достигая в отдельных случаях (месторождения Бу-Краа, Орон, Западный Тханиет) 3,92—3,96%, что превышает его содержание в теоретическом составе фторапатита.

Органическое вещество не является характерной составной частью фосфоритовых руд. Однако в некоторых глинистых их разновидностях, пропитанных вторичными битумами, встречающихся на отдельных месторождениях Алжиро-Тунисского бассейна, содержание этого компонента повышается до 4—7%. Кроме того, органическое вещество отмечается в виде включений в фосфатном веществе (до нескольких десятков долей процента) и в карбонатном материале, как это имеет место, например, в рудах месторождения Абу-Тартур.

Зернистые фосфоритовые руды провинции характеризуются повышенным содержанием (от 0,03 до 1%) в них стронция, значительно превышающим кларк этого элемента в осадочных породах. При этом часто отмечается положительная корреляция между Sr и P_2O_5 , что обусловлено, по-видимому, изоморфным вхождением

дователи отмечают также повышенные содержания стронция в зернистых фосфоритовых рудах, вызванного распадом его изотопов. Содержание U_3O_8 в фосфоритовых рудах колеблется от 0,02%: на месторождении Квейфис в 0,02%, на месторождениях 0,0058—0,0054%. Повышенное содержание U_3O_8 отмечено также в рудах месторождений Западно-Сирийского бассейна и Южно-Турецкого района [Смирнов А. И., 1964; Фадли И. Д., 1965]. Для фосфоритовых руд Абу-Тартур характерно повышенное содержание цериевых земель цериевой группы (от 0,07 до 0,10%).

В табл. 19 и 20 на основе рассмотренных выше критериев предложены прогнозные критерии территории фосфоритоносной формации и связанных с ней зернистых фосфоритовых руд.

МЕТОДИКА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ФОСФОРИТОВЫХ РУД СВЯЗАННЫХ С ГРУППОЙ КАРБОНАТНЫХ

При прогнозных исследованиях объектами прогнозирования служат фосфоритоносные формации (обзорные провинции) и месторождения фосфоритовых руд (обзорные залежи). При этом используются критерии прогнозирования фосфоритоносных формаций и месторождений, приведенные в табл. 19 и 20.

Методика обзорных и региональных исследований

В процессе выполнения обзорных исследований в первую очередь региональные исследования проводятся в карбонатных фосфоритоносных формациях. На этом для первого этапа прогнозных исследований производится выделение обзорных залежей под прогнозную оценку, рекомендует применение прогнозных критериев.

1. При выполнении операции I в исследуемых мио- и эвгеосинклинальных областях выделяются по палеорежиму зоны геосинклинальными условиями, где в карбонатно-кремнисто-карбонатной фосфоритоносной формации выделяются в пределах этих геоструктурных элементов в морские ряды формаций, а в пределах континентальных карбонатных формаций выделяются в пределах континентальных формаций.

ный привнос терри-
вины или удаленности
атного состава раз-
оны фосфатонакопле-
унно-морской (осоло-
нная связь областей
инальным бассейном;
аридного климата;
и бассейновых и ило-
тов и препятствующ-
фатных образований.
ание и накопление
авийской фосфорито-
ирующего отложения
иченном поступлении
иные особенности в
к фосфоритовых руд.
ляющих 90%, явля-
долю остальных ком-

ического состава зер-
рождений Африкано-
е содержание SO_3 ,
—5% (месторождение
ие SO_3 может быть
а в фосфатном ве-
одит в состав вторич-
е фосфоритовых руд.
ицейной зависимости
в отдельных случаях
ханий) 3,92—3,96%,
ком составе фторапа-

рактерной составной
ых глинистых их раз-
мами, встречающихся
исского бассейна, со-
4—7%. Кроме того,
ючений в фосфатном
цента) и в карбонат-
р, в рудах месторож-

характеризуются по-
них стронция, значи-
влияния между эф-
порфным входящими
тных минералов [Са-
1971]. Многие иссле-

дователи отмечают также повышенную радиоактивность зерни-
стых фосфоритовых руд, вызванную присутствием урана и продук-
тов его распада. Содержание U_3O_8 в рудах изменяется от 0,006 до
0,02%: на месторождении Кнейфис (Сирия) до 0,01%, на Египет-
ских месторождениях 0,0058—0,0194%, в Иордании 0,07—0,018%.
Повышенное содержание U_3O_8 отмечается также в фосфоритовых
рудах месторождений Западно-Сахарского, Алжиро-Тунисского
бассейнов и Южно-Турецкого района [Visse L., 1954; Sheldon R. P.,
1964; Фадли И. Д., 1965]. Для фосфоритовых руд месторождения
Абу-Тартур характерно повышенное содержание суммы редких
земель цериевой группы (от 0,07 до 0,3%).

В табл. 19 и 20 на основе рассмотренных закономерностей даны
прогнозные критерии терригенно-кремнисто-карбонатной фос-
форитоносной формации и связанных с нею месторождений зер-
нистых фосфоритовых руд.

МЕТОДИКА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И ПОИСКОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ФОСФОРИТОВЫХ РУД, СВЯЗАННЫХ С ГРУППОЙ КАРБОНАТНЫХ ФОРМАЦИЙ

При прогнозных исследованиях разного масштаба основными
объектами прогнозирования служат как продуктивные фосфори-
тоносные формации (обзорное прогнозирование), так и непосред-
ственно месторождения фосфоритовых руд, а также части их и от-
дельные залежи (региональное и локальное прогнозирование).
При этом используются критерии прогнозирования фосфоритонос-
ных формаций и месторождений, которые в обобщенном виде при-
ведены в табл. 19 и 20.

Методика обзорных и региональных прогнозных исследований

В процессе выполнения обзорного прогнозирования использу-
ются в первую очередь региональные критерии и признаки группы
карбонатных фосфоритоносных формаций (см. табл. 20). При
этом для первого этапа прогнозных исследований, в результате
которого производится выделение площадей и геологических тел
под прогнозную оценку, рекомендуется следующий порядок при-
менения прогнозных критериев.

1. При выполнении операции 1 и 2 (см. гл. III) ограничивают-
ся мио- и эвгеосинклинальные области, в которых возможно раз-
витие кремнисто-карбонатной фосфоритоносной формации, а так-
же переходные по палеорежиму зоны между платформенными и
геосинклинальными условиями, где возможно развитие терриген-
но-кремнисто-карбонатной фосфоритоносной формации. В преде-
лах этих геосинклинальных элементов выделяются континентальные
и морские ряды формаций, а в пределах последних — карбонат-
ные, кремнисто-карбонатные, терригенно-кремнисто-карбонатные и
другие существенно карбонатные комплексы пород в ранге, соот-
ветствующем формациям и субформациям.

Главные прогнозные критерии продуктивных фосфоритоносных формаций карбонатной группы

Прогнозные критерии	Кремнисто-карбонатная формация	Терригенно-кремнисто-карбонатная формация
Палеотектоническое положение	Миогеосинклинали (Каратауский, Хубсугульский бассейны), переходные структуры от геосинклинали к платформе (Скалистые горы, Джорджина), реже — эвгеосинклинали (Алтае-Саянская складчатая область)	Краевые, прогибающиеся пекрикатонные части древних (Северная Африка, Ближний Восток) и молодых (Средняя Азия) платформ
Стратиграфическое положение	Рифей, нижний кембрий (Юннань), венд (Хубсугул), нижний кембрий (Каратауский), средний кембрий (Джорджина), пермь (Скалистые горы)	Верхний мел — палеоген (Африкано-Аравийская провинция, Средняя Азия), миоцен (Флорида)
Палеоклиматическая приуроченность	Аридная или переходная к гумидной климатическая зона	Аридная или переходная к гумидной климатическая зона
Палеогеографическое положение	Шельфы мелководных морей, участки замедленной терригенной седиментации и высокой биологической продуктивности; проливнообразная форма бассейна; повышенная соленость вод; области подъема глубинных океанических вод	Шельфы мелководных морей, фации с замедленной терригенной седиментацией и высокой биологической продуктивностью, заливнообразная форма бассейна, области подъема глубинных океанических вод
Связь с бассейнами осадконакопления различного типа	Переход с одной стороны в эвапоритовые, с другой — в глубоководные геосинклиналильные бассейны. (Скалистые горы, Каратауский, Джорджина)	Переход в усыхающие осоложенные (Алжиро-Тунисский, Восточно-Средиземноморский бассейны); отдаленная связь с глубоководными геосинклиналильными (для Африкано-Аравийской провинции — с геосинклиналью Тетис)
Положение в рядах формаций: в вертикальном	Между мощной терригенной или вулканогенно-осадочной толщей (снизу) и карбонатной, карбонатно-терригенной (сверху) — бассейны: Каратауский, Хубсугульский, Джорджина	Между терригенной или терригенно-карбонатной (снизу) и карбонатной, карбонатно-эвапоритовой (сверху) — Египетский, Марокканский, Алжиро-Тунисский бассейны, Средняя Азия
в латеральном	Между терригенной или вулканогенно-осадочной, с одной стороны, и карбонатной, или эвапоритовой, с другой. Между фосфоритоносной и эвапоритовой формациями находится обычно карбонатная формация	Между терригенной красной или эвапоритовой и карбонатной (Западно-Сахарский, Марокканский и другие бассейны)

Прогнозные критерии	Кремнисто-карбонатная формация
относительно границ рядов формаций	Обычно недалеко от границы трансгрессии
Взаимоотношение с другими рудоносными формациями	Непосредственно или ванадиносную (Аравийский бассейн); содержит в составе ванадийные и урановые руды (Скалистые горы, держит небольшие залежи железо-марганцевых руд Каратауский бассейн)
Состав формации: главные породы	Доломиты, кремнистые (Каратауский, Хубсугульский и Юннань), кремнистые (Скалистые горы), известняки, доломиты (Джорджина)
второстепенные породы	Углеродисто-кремнистые, алевритовые сланцы, шисты, песчаники
Строение формации: смена пород в направлении от берега вглубь палеобассейна	Скалистые горы: известняки — фосфоритоносные — карбонатные (по мере удаления от берега); Каратауский — известняки — доломиты — фосфоритоносные — карбонатные (по мере удаления от берега); Алжиро-Тунисский — известняки — доломиты — фосфоритоносные — карбонатные
в разрезе	Каратауский: известняки — доломиты — карбонатные — известняки — доломиты — карбонатные
Характеристики фосфоритоносности	Преобладают известняки (осадочно-морские), иногда известняки, гипсы, трансгрессивные известняки (Скалистые горы, Юннань, Хубсугульский бассейн, Джорджина); известняки толщиной 15—30 м, известняки мощностью 0,5—20 м, известняки до 6 м. Горизонты тонкофакальных известняков многоосадочности фосфоритоносности сосредоточены в основном в известняках — расчленены по раз-

-кремнисто-
формациягибающиеся пе-
части древних
рика, Ближний
подых (Средняя
мд — палеоген
вийская провин-
Азия), миоцени переходная к
атическая зонаководных морей,
денной терриген-
цией и высокой
продуктивно-
образная форма
ти подъема глу-
ческих водыхающие осоло-
жиро-Тунисский,
изменоморский
даленная связь с
и геосинкли-
Африкапо-Ара-
ции — с геосин-
с)игенной или тер-
натной (снизу) и
карбонатно-эва-
верху) — Египет-
анский, Алжиро-
сейны, Средняяригенной красно-
эвапоритовой и
(Западно-Сахар-
канский и другие

Прогнозные критерии	Кремнисто-карбонатная формация	Продолжение табл. 10 Терригенно-кремнисто-карбонатная формация
относительно границ рядов формаций	Обычно недалеко от нижней границы трансгрессивного ряда	Обычно в нижней половине ряда формаций выше базальной терригенной формации
Взаимоотношение с другими рудоносными формациями	Непосредственно переходит в ванадиеносную (Каратауский бассейн); содержит в своем составе ванадиевые и урановые руды (Скальные горы); содержит небольшие скопления железо-марганцевых пород (Каратауский бассейн)	Местами подстилается оолитово-железородной (Тунисский, Египетский бассейны). Содержит латеритные бокситы (Сенегал), руды редкоземельных и радиоактивных элементов
Состав формации: главные породы	Доломиты, кремни (Каратауский, Хубсугульский бассейны), кремни (Скальные горы), известняки, кремни, доломиты (Джорджина)	Известняки, доломиты, кремни, мергели, глины (Марокканский, Тунисский бассейны), известняки, глины, песчаники (Египетский бассейн)
второстепенные породы	Углеродисто-кремнистые, алевроитовые сланцы, алевролиты, песчаники	Песчаники, конгломераты
Строение формации: смена пород в направлении от берега в глубь палеобассейна	Скальные горы: терригенные — фосфоритоносные — карбонатные (по меридиану). Терригенно-карбонатные — фосфоритные — кремнисто-терригенные (по широте); Джорджина: терригенно-кремнистые — фосфоритоносные — карбонатные	Египет: терригенно-карбонатные сменяются фосфоритными, а затем карбонатными. Средняя Азия: терригенные сменяются карбонатными
в разрезе	Каратау: в основании терригенно-кремнистые, в кровле — карбонатные	В основании грубозернистые обломочные, в кровле — биохеомогенные, обычно кремнисто-карбонатные (Тунисский бассейн). В Западно-Сахарском бассейне — обратная последовательность
Характеристика фосфоритоносности	Преобладают микрозернистые (оолитово-микрозернистые) руды, иногда афанитовые. Кроме того, присутствуют желваковые (Скальные горы), брекчиевые, гравелито-конгломератовые. Содержание P_2O_5 в рудах 15—34%, мощность пластов 0,3—27 м, средняя — около 6 м. Горизонты подвержены фаціальным изменениям. В многогеосинклиналях фосфоритоносность сосредоточена в	Преобладают зернистые. Кроме того, присутствуют желваковые (Западно-Сахарский, Египетский бассейны), костяные брекчии (Марокканский, Тунисский, Египетский бассейны). Содержание P_2O_5 в рудах 25—32%, мощность пластов 0,1—20 м, средняя — 1,5—3 м. Фосфоритоносные горизонты выдержаны

тивных
группытерригенно-кремнисто-
карбонатная формацияые, прогибающиеся пе-
рные части древних
ая Африка, Ближний
и молодых (Средняя
латформий мел — палеоген
ано-Аравийская провин-
редняя Азия), миоцен
да)ная или переходная к
ой климатическая зонафы мелководных морей,
с замедленной терриген-
циментацией и высокой
ической продуктивно-
заливообразная форма
а, области подъема глу-
океанических водход в усыхающие осоло-
(Алжиро-Тунисский,
но-Средиземноморский
ны); отдаленная связь с
оводными геосинкли-
ми (для Африкано-Ара-
й провинции — с геосин-
тью Тетис)жду терригенной или тер-
о-карбонатной (снизу) и
натной, карбонатно-эва-
повой (сверху) — Египет-
Марокканский, Алжиро-
ский бассейны, Средняяжду терригенной красно-
ой или эвапоритовой и
натной (Западно-Сахар-
Марокканский и другие
инны)

Прогнозные критерии	Кремнисто-карбонатная формация	Терригенно-кремнисто-карбонатная формация
относительно границ рядов формаций	Обычно недалеко от нижней границы трансгрессивного ряда	Обычно в нижней половине ряда формаций выше базальной терригенной формации
Взаимоотношение с другими рудопосыльными формациями	Непосредственно переходит в ванадиеносную (Каратауский бассейн); содержит в своем составе ванадиевые и урановые руды (Скалистые горы); содержит небольшие скопления железо-марганцевых пород (Каратауский бассейн)	Местами подстилается оолитово-железорудной (Тунисский, Египетский бассейны). Содержит латеритные бокситы (Сенегал), руды редкоземельных и радиоактивных элементов
Состав формации:		
главные породы	Доломиты, кремни (Каратауский, Хубсугульский бассейны), кремни (Скалистые горы), известняки, кремни, доломиты (Джорджина)	Известняки, доломиты, кремни, мергели, глины (Марокканский, Тунисский бассейны), известняки, глины, песчаники (Египетский бассейн)
второстепенные породы	Углеродисто-кремнистые, алевритовые сланцы, алевролиты, песчаники	Песчаники, конгломераты
Строение формации:		
смена пород в направлении от берега в глубь палеобассейна	Скалистые горы: терригенные — фосфоритносные — карбонатные (по меридиану). Терригенно-карбонатные — фосфоритные — кремнисто-терригенные (по широте); Джорджина: терригенно-кремнистые — фосфоритносные — карбонатные	Египет: терригенно-карбонатные сменяются фосфоритными, а затем карбонатными. Средняя Азия: терригенные сменяются карбонатными
в разрезе	Каратау: в основании терригенно-кремнистые, в кровле — карбонатные	В основании грубозернистые обломочные, в кровле — биохомогенные, обычно кремнисто-карбонатные (Тунисский бассейн). В Западно-Сахарском бассейне — обратная последовательность
Характеристика фосфоритности	Пресобладают микрозернистые (оолитово-микрозернистые) руды, иногда афанитовые. Кроме того, присутствуют желваковые (Скалистые горы), брекчиевые, гравелито-конгломератные. Содержание P_2O_5 в рудах 15—34%, мощность пластов 0,3—27 м, средняя — около 6 м. Горизонты подвержены фаціальным изменениям. В многогеосинклиналих фосфоритность сосредоточена в узком диапазоне, в эвгеосинклиналих — рассеяна по разрезу	Пресобладают зернистые. Кроме того, присутствуют желваковые (Западно-Сахарский, Египетский бассейны), костяные брекчии (Марокканский, Тунисский, Египетский бассейны). Содержание P_2O_5 в рудах 25—32%, мощность пластов 0,1—20 м, средняя — 1,5—3 м. Фосфоритносные горизонты выдержаны

Таблица 20

Прогнозные критерии месторождений фосфоритовых руд группы карбонатных фосфоритоносных формаций

Прогнозные критерии	Месторождения микрозернистых фосфоритовых руд (Аксай, Джанатас, Дачис, Хубсугульское и др.)	Месторождения зернистых фосфоритовых руд (Юсуфия, Хурибга, Бу-Краа, Восточное и др.)
Стратиграфические	Приуроченность месторождений к позднему докембрию (Хубсугульский, Алтае-Саянский бассейны), кембрию (Каратауский, Джорджина) и перми (Скалистые горы). Для конкретных бассейнов приуроченность продуктивных горизонтов к узкому стратиграфическому интервалу в объеме отдела или части его (на юге бассейна Скалистых гор — к нижней, на севере — к верхней перми)	Для бассейнов — приуроченность промышленных горизонтов к стратиграфическому горизонту в объеме одного-двух ярусов: к кампанскому и маастрихтскому ярусам верхнего мела (Марокканский, Египетский бассейны), к монтскому, танетскому, ипрскому и лютетскому ярусам палеогена (Западно-Сахарский, Марокканский, Алжиро-Тунисский, Восточно-Средиземноморский бассейны, Средняя Азия), к миоцену (Флорида)
Структурно-тектонические	Приуроченность месторождений к склонам конседиментационных впадин (Каратауский, Хубсугульский бассейны) и поднятий (Джорджина)	Приуроченность месторождений к склонам антеклиз, синеклиз и других прогибающихся структур
Литологические	<p>Приуроченность высококачественных и мощных пластов руд к местам сокращенной мощности фосфоритоносной формации</p> <p>Преимущественно кремнисто-карбонатный или терригенно-кремнисто-карбонатный состав вмещающих толщ</p> <p>Приуроченность фосфоритоносных горизонтов к смене пород в разрезе формаций:</p> <p>кремнистых карбонатными (Каратауский, Хубсугульский бассейны), кремнисто-сланцевых — карбонатными (бассейн Скалистых гор)</p> <p>Парагенезис с железомарганцевыми рудами (Каратауский бассейн) и уран-ванадиевыми сланцами (Скалистые горы)</p>	<p>Локализация наиболее мощных горизонтов фосфоритовых руд на крыльях брахантиклиналей (М'Зайта в Алжире, Эль-Хаса в Иордании и др.) и мульдообразных синклиналией (Юсуфия, Хурибга в Марокко, Джебел-Онк в Алжире и т. д.)</p> <p>терригенных, карбонатно-терригенных карбонатными или кремнисто-карбонатными (Марокко, Египет, Средняя Азия)</p>

Прогнозные критерии	Месторождения микрозернистых фосфоритовых руд (Аксай, Джанатас, Дачис, Хубсугульское и др.)
Минералогопетрографические	Минимальное количество фосфоритоносной формации Парагенезис фосфоритов халцедоном, доломитом
Палеогеографические	Приуроченность зон фосфоритов к подводным впадинам, бассейнам наиболее богатых фосфоритом в этих условиях, в предельном сезоне сезонных течений. Удаленность от океана. Обильное развитие микробных матов, иногда с повышенной продуктивностью
Геохимические	Наличие повышенных концентраций фосфора, кальция, марганца, бария
Горно-технические	Конкретизируются применительно к отдельным бассейнам

2. В процессе выполнения фосфоритового анализа (операция 4) в выделах определяются границы формаций, вертикальные взаимоотношения формаций группы, уточняется их стратиграфия, выделяются крупные конформные и отрицательные структуры, известные проявления фосфоритовых формаций, с которыми они связаны в связи с различными геологическими факторами, а также предполагаемые субформации и предварительно оценены продуктивности (на основании анализа выделов).

3. По возможности в нескольких пределах известных и предполагаемых выделяются благоприятные для возрастному, структурному, фациальному положению и др.) и соответствующим зонам, уточняются положения, границы последних; особое внимание уделяется благоприятных прогнозных критериям известным месторождениям и про-

Месторождения зернистых фосфоритовых руд (Юссуфия, Хурибга, Бу-Краа, Восточное и др.)

бассейнов — приурочены к промышленным горизонтально-стратиграфическому горизонту в объеме одного-двух ярусов: к кампанскому и маастрихтскому ярусам верхнего миоцена (Марокканский, Египетский бассейны), к монтепульанскому, ипрскому и лютетскому ярусам палеогена (Западно-Сахарский, Марокканский, Алжиро-Тунисский, Восточно-Средиземноморский бассейны, Средняя Азия), к миоценовому (Флорида)

приуроченность месторождений к склонам антеклиз, синеклиз и других прогибающихся структур

и мощных пластов руд фосфоритовых формаций

анализация наиболее мощных горизонтов фосфоритовых руд в крыльях брахиантиклиналей (М'Зайта в Алжире, Эль-Мадина в Иордании и др.) и в орогенных синклиналях (Юссуфия, Хурибга в Марокко, Эль-Онк в Алжире и т. д.)

натный или терригенно-карбонатный толщ горизонтов к смене по-

терригенных, карбонатно-терригенных, карбонатными или магматическими (Магма, Египет, Средняя Азия)

Прогнозные критерии	Месторождения микрозернистых фосфоритовых руд (Аксай, Джанатас, Дачис, Хубсугульское и др.)	Месторождения зернистых фосфоритовых руд (Юссуфия, Хурибга, Бу-Краа, Восточное и др.)
	Минимальное количество терригенных пород в разрезе фосфоритовых формаций	
Минералогическо-петрографические	Парагенезис фосфатов с халцедоном, доломитом	Парагенезис фосфатов с кальцитом, пиритом, кварцем, широкое развитие фосфатизации фаунистических остатков
Палеогеографические	Приуроченность зон фосфатонакопления к пологим склонам подводных впадин, банок, отмелей палеобассейна; формирование наиболее богатых фосфоритовых осадков в мелководных условиях, в пределах участков, характеризующихся наличием сезонных течений и замедленной терригенной седиментации. Удаленность областей сноса терригенного материала. Обильное развитие морской фауны. Теплые морские воды иногда с повышенной соленостью. Глубины 5—150 м	
Геохимические	Наличие повышенных против флуоридов содержания редкоземельных элементов, ванадия, марганца, бария	Наличие повышенных против флуоридов содержания редкоземельных элементов, стронция
Горно-технические	Конкретизируются применительно к отдельным бассейнам	

2. В процессе выполнения формационного и минералогического анализов (операция 4) в выделенных таким образом областях определяются границы формаций, выясняются латеральные и вертикальные взаимоотношения формаций и субформаций карбонатной группы, уточняется их строение, состав и другие характеристики, выделяются крупные конседиментационные положительные и отрицательные структуры, устанавливается положение известных проявлений фосфоритовых руд рассматриваемых типов и формаций, с которыми они связаны, в истории развития региона и в связи с различными геологическими процессами. Выделяются известные, а также предполагаемые фосфоритовые формации и субформации и предварительно классифицируются по возможной продуктивности (на основании аналогии с известными).

3. По возможности в несколько более крупном масштабе в пределах известных и предположительно продуктивных формаций выделяются благоприятные для фосфатонакопления зоны (по возрасту, структурному, фациальному, палеогеографическому положению и др.) и соответствующие им комплексы пород и горючих веществ; уточняются положения, границы, состав и другие характеристики последних; особое внимание обращается на комплекс благоприятных прогнозных критериев и признаков, свойственных известным месторождениям и проявлениям микрозернистых фосфоритовых руд.

соответствующих случаях зернистых руд. Для этого используются комплексы локальных прогнозных критериев месторождений соответствующего типа (см. табл. 20) и поисковые признаки. Для новых объектов на ограниченных площадях с этой целью по возможности производится литолого-фашиальный или фашиальный анализ (в более крупном масштабе).

4. Выделенные таким образом площади и геологические объекты подвергаются прогнозной оценке, на основе которой определяется степень их перспективности.

При выполнении регионального прогнозирования, заканчивающегося составлением соответственно региональных (среднего масштаба) прогнозных карт, используются в основном прогнозные критерии месторождений соответствующего типа (см. табл. 20). Рекомендуются следующий порядок их применения.

1. Уточняются границы известных и предполагаемых продуктивных фосфоритоносных формаций и субформаций (для этого предварительно проводится формационный анализ, если он ранее не проводился), а также границы фосфоритоносного палеобассейна. Производится дробное расчленение субформаций карбонатной группы на литологические и стратиграфические горизонты и уточняется положение каждого из них в разрезе и по площади. Ограничиваются благоприятные для развития фосфоритовых руд участки сокращенных мощностей горизонтов.

2. Выделяются конседиментационные структуры соответствующего порядка, а в их пределах участки, благоприятные для фосфатонакопления (склоны синеклиз и антеклиз, локальные поднятия и др.). При этом привлекаются данные геофизических методов.

3. По комплексу литологических, минералогических, структурно-текстурных признаков и критериев уточняются положение и границы литологических и структурных элементов, благоприятных для локализации фосфоритовых руд. При этом особое внимание обращается на зоны развития кремнистых пород типа сланцев и лидитов, зоны перехода терригенных и кремнистых пород в карбонатные, доломитов в известняки, развития брекчиевых структур в карбонатных и кремнистых породах и т. д. Желательно параллельное выполнение фашиального анализа.

4. Привлекаются геохимические данные о совокупности с данными радиометрических методов, прямые поисковые признаки, производится минерогенетический анализ и выделяются перспективные горизонты и участки для прогнозной оценки.

Специфика прогнозных исследований месторождений рассматриваемого типа находит свое отражение в наборе, характере нагрузки и содержании используемых и составляемых вспомогательных материалов, которые определяют методику анализа первичных данных и применяемых методов исследования. Как видно из характеристики эталонных месторождений фосфоритовых руд, связанных с группой карбонатных формаций, в одних случаях они располагаются в пределах сложно дислоцированных комплексов

пород (что типично для большинства фосфоритовых руд) и в других — локализируются в пределах слабо дислоцированных толщ осадочных пород, выдержанных на значительных расстояниях от бассейна Джорджина, а также в других месторождениях зернистых фосфоритов провинции. Применительно к оценке этих двух разновидностей фосфоритовых руд используются соответствующие методические следования.

При прогнозировании месторождений фосфоритовых руд, характеризующихся сложными условиями, используются вспомогательных материалов (вспомогательных материалов) или иной специализации, а при необходимости используются: карта изученности территории, специализированная геологическая карта, структурно-формационная, литолого-географическая, палеогеографическая и палеотектоническая карты.

Для месторождений зернистых фосфоритовых руд, характеризующихся сложными условиями, используются вспомогательных материалов (вспомогательных материалов) в виде структурно-формационная карта, специализированная по содержанию отвечающая литолого-географической, палеотектонической, геохимической карты.

Карта изученности территории составляется в соответствии с требованиями. На регистрацию и месторождений фосфоритовых руд и проявления сопутствующих металлов и лезных ископаемых осадочного генезиса (железа, стронция, бария и др.) картирующиеся в масштабе составляются проекции их выхода на горизонтальную проекцию.

На структурно-формационных картах граница, состав и возраст формаций (несогласия, разрывы и т. п.), а также фосфатонакопления в историческом развитии фосфатонакопления в исторической связи фосфатонакопления с формационными горизонтами региональных карт — с более мелким масштабом. На структурно-формационной карте детально отображаются литолого-географические и палеотектонические данные.

пород (что типично для большинства месторождений микрозернистых фосфоритовых руд) и характеризуются сложным строением, а в других — локализируются в пределах полого залегающих, очень слабо дислоцированных толщ осадочных пород и представлены в виде выдержанных на значительных расстояниях, сравнительно просто устроенных залежей фосфоритовых руд. К последним относится ряд месторождений микрозернистых фосфоритовых руд бассейна Джорджина, а также подавляющее большинство месторождений зернистых фосфоритовых руд Африкано-Аравийской провинции. Применительно к особенностям строения и залегания этих двух разновидностей фосфоритоносных объектов используются и соответствующие методические приемы при прогнозных исследованиях.

При прогнозировании месторождений микрозернистых фосфоритовых руд, характеризующихся сложным строением, в качестве вспомогательных материалов (используемых готовыми после той или иной специализации, а при необходимости строящихся заново) используются: карта изученности, регистрационная карта, специализированная геологическая карта, являющаяся по содержанию структурно-формационной, литолого-фациальная с элементами палеогеографии и палеотектоники, геофизические и геохимические карты.

Для месторождений зернистых, а также микрозернистых фосфоритовых руд, характеризующихся простым строением, в число вспомогательных материалов входят: карта изученности, регистрационная карта, специализированная геологическая карта, по содержанию отвечающая литолого-фациальной с элементами палеогеографии, палеотектоническая, структурная, геофизические и геохимические карты.

Карта изученности составляется в соответствии с общими требованиями. На регистрационную карту, помимо проявлений и месторождений фосфоритовых руд, наносятся месторождения и проявления сопутствующих и парагенных фосфоритам полезных ископаемых осадочного генезиса (марганца, ванадия, редких земель, стронция, бария и др.). Фосфоритоносные горизонты, картирующиеся в масштабе составляемой карты, наносятся в виде проекции их выхода на горизонтальную плоскость.

На структурно-формационной карте изображаются границы, состав и возраст формаций и субформаций. Специальными знаками показываются пространственные взаимоотношения формаций (несогласия, размывы, фациальные замещения и т. п.), а также фосфатоносность слагающих их пород (для каждого типа). Основными задачами карты являются определение положения фосфатонакопления в истории развития региона и анализа связи фосфатоносности с формациями, субформациями, а для региональных карт — с более мелкими литологическими комплексами. На структурно-формационной карте особо выделяются кремнисто-карбонатные и близкие им по составу комплексы пород; детально отображаются их строения.

фациальные переходы и др. Из-за сложности тектонического строения и полифаціальности отложений, слагающих большинство месторождений микрозернистых фосфоритовых руд, а также трудностей в возрастной корреляции древних толщ роль структурно-формационной карты в качестве минерагенической основы резко возрастает.

Литолого-фациальная карта с элементами палеогеографии составляется одна или несколько (особенно для региональных карт), в зависимости от количества уровней фосфоритовосности. На литолого-фациальных картах выделяются и особо детализируются фациальные зоны, в которых происходило накопление кремнистых, доломитовых и глинисто-известковых осадков; обращается внимание на зоны с красноцветными осадками и эвапоритами. Желательно показать глубины палеобассейна. Детально отображается литологический состав сильно обогащенных органическими остатками отложений, накопившихся в мелководных условиях (глубины 5—150 м). Очень важно при этом выделить зоны замедленной терригенной седиментации, характеризовавшиеся наличием сезонных донных течений, к которым преимущественно приурочены залежи зернистых и микрозернистых фосфоритовых руд. Выделение фациальных зон производится с учетом их структурного положения.

Основной задачей литолого-фациальных карт с элементами палеогеографии, которые строятся в основном при региональном прогнозировании, является выделение в пределах областей накопления кремнисто-карбонатных и терригенно-кремнисто-карбонатных отложений участков, благоприятных для локализации фосфоритовых руд того или иного типа, и выяснение закономерностей их пространственного положения. Особенно важен анализ фациальных переходов, в частности, зон перехода карбонатных отложений в терригенные и кремнистые, где обычно локализуются промышленные скопления фосфоритовых руд во всех известных фосфоритовосных бассейнах рассматриваемых типов.

При построении литолого-фациальных карт используются имеющиеся данные по литологии, а также палеогеографические и палеотектонические карты. При наличии достаточного количества надежного фактического материала может быть полезным предварительное составление палеогеографических или палеотектонических карт по основным фосфоритовосным уровням, которые затем вместе с литолого-фациальной картой используются при построении минерагенической карты.

При региональном прогнозировании на палеотектонические карты наносятся главнейшие палеоструктуры, существовавшие на территории исследования во время фосфатонакопления; изолиниями отражаются равные мощности перспективного (или предположительно перспективного) стратиграфического интервала. Специальными знаками показываются унаследованные (конседиментационные) и постседиментационные (как дизъюнктивные, так и пликвативные) структуры. При этом детально изображаются пере-

ходные участки от положительных конседиментационных впадин и т. д.

Палеогеографические карты рекомендуются в качестве при прогнозировании месторождений в случаях микрозернистых фосфоритовосных простом геологическом тия древних, сильно дислоцированных урочено подавляющее большинство руд, из-за ошибок в определении корреляции отдельных горизонтов верхней палеогеографической зоны значительной степени ограничиваются лесообразно составление структурно-фациальных карт. Данные же слагаются в палеотектонических карт в виде тех или иных элементов.

На геохимических картах (иногда) отображаются данные элементов-индикаторов фосфоритовосных земель и других в рыльях отложений, вмещающих продукты земных водах и т. п. Значительные могут оказать данные по распространению отложений, вмещающих продукты первичных карбонатных толщ, в фосфоритовые руды, на основе которых иногда можно расчленить разрезы по глубине залегания фосфоритов, особенно ценны при прогнозировании, при наличии разломов, в виде пликвативных дислокаций. Например, в отношении марганца и титана в зоне доломитов шабактинской сводящийся непосредственно на фосфоритовые руды.

На геофизической карте также и другие данные, имеющие значение для прогноза, а также сведения по глубинному

Специфика полевых исследований (в масштабом) прогнозирования с особенностями и степенью сложности исследований. В общем случае сводятся на изучение литологии фактически состава и взаимоотношения элементов, определяющих локализацию

тектонического
щих большинст-
руд, а также
роль структур-
кой основы рез-

ментами палео-
енно для регио-
ней фосфорито-
ляются и особо
исходило накоп-
тковых осадков;
осадками и эва-
ассейна. Деталь-
обогащенных ор-
я в мелководных
и этом выделить
рактеризовавшие-
и преимуществен-
ных фосфорито-
тятся с учетом их

с элементами па-
при региональном
к областей накоп-
емнисто-карбонат-
кализации фосфо-
кономерностей их
анализ фаціаль-
атных отложений
изуются промыш-
вестных фосфори-

т используются
географические и
чного количества
полезным предва-
палеотектониче-
м, которые затем
тятся при постро-

теотектонические
ествовавшие на
иления; изоли-
ого (или предпо-
интервала. Спе-
е (конседимента-
ктивные, так и

ходные участки от положительных структур к отрицательным, конседиментационные впадины и поднятия.

Палеогеографические и палеотектонические карты рекомендуются в качестве вспомогательных материалов при прогнозировании месторождений зернистых, а в отдельных случаях микрозернистых фосфоритовых руд, в районах, характеризующихся простым геологическим строением. В районах развития древних, сильно дислоцированных отложений, к которым приурочено подавляющее большинство микрозернистых фосфоритовых руд, из-за ошибок в определении возраста и неточности при корреляции отдельных горизонтов возможность получения достоверной палеогеографической и палеотектонической информации в значительной степени ограничивается. В этих условиях более целесообразно составление структурно-формационных или литолого-фациальных карт. Данные же существующих палеогеографических и палеотектонических карт используются с учетом обоснованности тех или иных элементов.

На геохимических картах среднего масштаба (региональных) отображаются данные по распределению фосфора и элементов-индикаторов фосфоритовых руд: ванадия, стронция, редких земель и других в рыхлых отложениях, коренных породах, подземных водах и т. п. Значительную помощь при прогнозировании могут оказать данные по распределению химических элементов в отложениях, вмещающих продуктивные горизонты. При наличии монотонных карбонатных толщ, вмещающих или перекрывающих фосфоритовые руды, на основе отношения некоторых элементов иногда можно расчленить разрез на отдельные горизонты и определить глубину залегания фосфоритоносной серии. Такие данные особенно ценны при прогнозировании в районах сложного строения, при наличии разломов, надвигов и труднораспознаваемых пликативных дислокаций. Например, в Каратауском бассейне по отношению марганца и титана может быть выделен нижний горизонт доломитов шабактинской свиты мощностью 40—120 м, залегающий непосредственно на фосфоритоносной чулактауской свите. На геофизической карте отражаются радиометрические и другие данные, имеющие характер прогнозных критериев, а также сведения по глубинному строению исследуемого района.

*

* *

Специфика полевых исследований при неглубокой, особенно (или предположительно) сложности геологического строения района исследований. В общем случае полевые работы должны нацеливаться на изучение литологии фосфоритоносных формаций, уточнение состава и строения

Для микрозернистых фосфоритовых руд характерен преимущественно доломитовый состав карбонатных пород фосфоритоносной формации с наличием горизонтов кремнистых пород. Во время полевых исследований необходимо особо тщательное изучение в разрезах зон перехода кремнистых пород в существенно доломитовые, карбонатных пород — в терригенные, а также доломитов — в известняки, к которым обычно приурочены промышленные залежи фосфоритовых руд. Аналогичные наблюдения производятся и по латерали.

Если прогноз ведется на зернистые фосфоритовые руды, то наиболее тщательно исследуются литологические ассоциации, располагающиеся на границе перехода существенно терригенных, часто красноцветных или пестроцветных отложений в карбонатные. Данные по месторождениям Африкано-Аравийской провинции показывают, что вероятность наличия промышленных залежей выше, если карбонатные породы представлены кремнистыми мергелями или мергелистыми известняками с прослоями кремнистых пород (опок, диатомитов, трепелов, спонголитов и др.) и доломитов.

Изучение литологии и фосфоритоносности при полевых исследованиях рекомендуется проводить на серии опорных разрезов с обязательным опробованием их на фосфор микрохимической качественной реакцией. Обращается внимание также и на проявления полезных ископаемых, встречающихся в ассоциации с фосфоритовыми рудами (марганца, ванадия — для микрозернистых и стронция и железа — для зернистых).

Одновременно с литолого-фациальным изучением территории для решения конкретных задач могут проводиться литогеохимическая, радиометрическая (гамма-спектрометрия и фторометрия) съемки, шлиховое опробование, а также те или иные геофизические работы.

На основе перечисленных вспомогательных материалов и данных полевых исследований составляется минерагеническая карта, на которую выносятся критерии и признаки, контролирующие размещение, масштаб и качество фосфоритовых руд: карбонатные, кремнисто-карбонатные, терригенно-карбонатные, терригенно-кремнистые комплексы пород и характер их пространственных взаимоотношений, площади распространения месторождений и проявлений фосфоритов (установленные и предполагаемые), ореолы рассеяния фосфора, фациальные зоны, характеризующиеся благоприятными для фосфатонакопления палеогеографическими условиями, рудолокализирующие палеоструктуры, ореолы повышенных содержаний элементов индикаторов, радиометрические аномалии и др. На полях среднemasштабных минерагенических карт (региональное прогнозирование) помещаются обзорная карта района и схема возрастного положения фосфоритовых (и связанных с ними других типов осадочных полезных ископаемых — марганца, ванадия, редких земель, стронция, бария и др.) руд. В схеме возрастного положения отражаются

таких фосфоритовых и является установленным критерием фосфоритоносности и прогноза процесса на исследованной территории. Прогнозная карта-вкладка с такими требованиями.

Методика локального прогноза

При выполнении локального прогноза в первом критерии и признаках исторических применений в значительной мере региональном прогнозе. Особое внимание уделяется то, что часто приходится использовать один или несколько критериев и признаков турного, либо стратиграфического и фациального знака при этом используются данные о

Локальные крупномасштабные исследования выполняются в районах распространения карбонатной группы и известняков (месторождения) зернистых известняков и руд, т. е. перспективность исследованиями.

Локальный прогноз основывается на закономерностях размещения и распространения, используются при региональном прогнозе и методические приемы при обработке фациальных материалов, способы и методы локальных исследований отличаются высокой детализацией работ с применением геохимического анализа, с одной стороны, и использованием геологических данных — с другой.

Как и при региональном прогнозе, при локальном прогнозе, содержание в исследованных материалах определяется конкретными условиями строения конкретного района и объектов прогнозирования. Здесь видна новизна прогнозируемых месторождений геологическим строением. При выполнении локального прогноза используются модифицированные материалы, имеющие высокую литолого-фациальную, геохимическую, тектонику, структурную, геофизическую

Во втором случае — при выполнении локального прогноза — вспомогательные материалы и данные геологических (палеоструктурных) карт по отдельным месторождениям

типов фосфоритовых и парагенных с ними руд. Важным моментом является установление *возрастного скользящего* фосфоритоносности и пространственной направленности этого процесса на исследованной территории.

Прогнозная карта-накладка составляется в соответствии с общими требованиями.

Методика локальных прогнозных исследований

При выполнении локального прогноза используются в основном критерии и признаки месторождений (см. табл. 20). Порядок их применения в значительной мере аналогичен таковому при региональном прогнозе. Особенностью локального прогноза является то, что часто приходится использовать в качестве основных один или несколько критериев и признаков (например, либо структурного, либо стратиграфического и т. п.). Другие критерии и признаки при этом используются как дополнительные.

Локальные крупномасштабные прогнозные исследования выполняются в районах распространения фосфоритоносных формаций карбонатной группы на площадях, где известны проявления (месторождения) зернистых или микрозернистых фосфоритовых руд, т. е. перспективность которых определена предыдущими исследованиями.

Локальный прогноз основывается главным образом на тех же закономерностях размещения и прогнозных критериях, которые используются при региональных исследованиях; много общего имеют и методические приемы прогнозирования, перечень вспомогательных материалов, способы их построения и др. Методика локальных исследований отличается от региональных большей степенью детализации работ с применением литолого-фациального анализа, с одной стороны, и резким увеличением роли геофизических и геохимических данных — с другой.

Как и при региональном прогнозировании, *специфика* составленных материалов определяют характером геологического строения конкретного района исследований и предполагаемых объектов прогнозирования. Здесь можно выделить те же две разновидности прогнозируемых месторождений: *основных* и *вспомогательных* материалов. Применительно к первым перечень вспомогательных материалов включает составляемые запасы или модифицированные имеющиеся карты: изученности, регистрационную, литолого-фациальную с элементами палеогеографии и палеотектоники, структурную, геофизическую и геохимическую.

Во втором случае — при простом геологическом строении райо-

графических материалов совместно с прогнозной картой и ее минерагенической основой.

Карта изученности несет ту же нагрузку, что и при региональном прогнозировании. Регистрационная карта, помимо сведений о возрасте, масштабе проявлений (месторождений), количестве пластов (горизонтов), мощности фосфоритовых руд, качестве и продуктивности, должна дополнительно содержать информацию об условиях залегания горизонтов, мощности вскрыши, гидрогеологии (обводненности); если есть данные, желательны также показать распределение содержаний полезных и вредных (полуторные окислы MgO) компонентов в фосфоритовых рудах. Как и при региональном прогнозе, на эту карту наносятся проявления и месторождения сопутствующих фосфоритовым рудам осадочных полезных ископаемых (марганца, железа, ванадия, стронция и др.).

Литолого-фациальная карта отражает данные о распространении, возрасте, петрографическом составе, структурно-текстурных особенностях пород, их фациальной приуроченности, степени фосфатонности, мощности продуктивных отложений, взаимоотношениях их с вмещающими отложениями. На карте детально показываются данные о химическом и петрографическом составе карбонатных пород (известняки, доломиты, степень доломитности известняков, содержание терригенных примесей, органического вещества и др.), структурно-текстурных особенностях (брекчиевидные, биокластические и т. д.), примесях и включениях (кремнистый материал в рассеянном состоянии и в виде стяжений, выделения пирита, гипса и других минералов и т. д.).

Большое значение имеет отображение на карте специфических минеральных ассоциаций, прямо или косвенно связанных с фосфоритовыми рудами. Для месторождений микрозернистых фосфоритовых руд характерны халцедон-доломитовые, халцедон-кальцитовые, а также железо-марганцевые парагенезы с фосфатами из группы апатита. К числу минеральных ассоциаций, указывающих на возможное наличие зернистых фосфоритовых руд в смежных фациальных зонах, относятся глауконит-кварц-кальцитовые, обычно приуроченные к участкам ближнего к берегу выклинивания фосфоритовых залежей, при фациальном переходе зернистых фосфоритовых руд в желваковые (например, на территории Сирии в Восточно-Средиземноморском бассейне).

Для зон дальнего выклинивания зернистых фосфоритовых руд иногда характерна пирит-углеродисто-монтмориллонитовая минеральная ассоциация аксессуарных минералов в слабофосфатных карбонатных породах. Вследствие выгорания органического вещества и окисления пирита на дневной поверхности эта ассоциация выражена зонами обеленных пестроцветных пород (алжиро-туниские и египетские месторождения, кызылкумские в Средней Азии). В некоторых местах в основании трансгрессивных ритмов с фосфоритонасными отложениями располагаются оолитовые железные руды, представленные лимонитом и керчинитом (Египет) или же

склеритом с марганцевыми включениями. В частях этих ритмов в отдельных местах отмечаются отдельные пластины марганцевых руд.

Палеогеографические данные, которые при прогнозировании, если в достаточном количестве достоверных данных, для каждого стратиграфического горизонта изображаются фациально-динамическими осадков, направление движения и накопления, минералы-индикаторы, характерная фауна и флора. Железные бассейны. При наличии данных о фосфоритонасном горизонте выклинивания.

На структурной карте выносятся прогибы и поднятия, складчатые пояса, изломы кровли и элементы выклинивания, положение продуктивных горизонтов, структурной позиции залежей фосфоритовых руд. Можно показать границы, в пределах которых перспективные для их выноса горизонты залегают на доступной для изучения территории.

Основной задачей геофизических исследований является крупномасштабный прогноз выноса фосфоритовых залежей, положения, границ и распространения их вширь и вглубину. В этой функции геофизические карты среди других вспомогательных карт являются важнейшими, основными исследованиями.

На геофизическую карту выносятся результаты интерпретации геофизических исследований, строение территории, структурные элементы, положение продуктивных горизонтов и т. д., границы залегания. В зависимости от характера исследований и особенностей территории основные могут быть приняты геофизические, электроразведочные и сейсмические. Вторую часть нагрузки геофизических исследований составляют радиометрические съемки в различных зонах.

Нагрузка геохимической карты такой для карт среднего масштаба. В крупномасштабном прогнозе желательны признаки, основанные на отношении геохимических элементов в породах выноса. В числе и в зонах фосфатонакопления не только прогнозирование фосфоритовых залежей и дифференциация их по качеству, но и характере распределения химических элементов.

отмечаются отдельные пластовые залежи оолитовых железных и марганцевых руд.

Палеогеографические карты целесообразно использовать при прогнозировании, если они основаны на достаточном количестве достоверных данных. В этом случае они состояются для каждого стратиграфического уровня фосфатонности. На них изображаются фациально-динамические зоны, фациальный тип осадков, направление движения течений, переноса обломочного материала. Специальными знаками показываются зоны фосфатонакопления, минералы-индикаторы геохимического режима, характерная фауна и флора. Желательно отразить глубины палеобассейна. При наличии данных указывается продуктивность фосфоритоносного горизонта изолиниями в $\text{кг/м}^2 \text{P}_2\text{O}_5$.

На структурной карте отражаются конседиментационные прогибы и поднятия, складчатые и разрывные нарушения, изопахиты кровли и элементы залегания слоев, контролирующего положение продуктивных горизонтов. Кроме информации о структурной позиции залежей фосфоритовых руд, на этой карте необходимо показать границы, в пределах которых фосфоритовые руды или перспективные для их нахождения стратиграфические горизонты залегают на доступной для разработки глубине.

Основной задачей геофизических и геохимических данных при крупномасштабном прогнозе является определение структурного положения, границ и распространения фосфоритовых руд по площади и на глубину. В этой функции геофизические и геохимические карты среди других вспомогательных графических материалов являются важнейшими, определяющими надежность прогнозных исследований.

На геофизическую карту (карты) выносятся результаты интерпретации геофизических данных, отражающие глубинное строение территории, структурное положение продуктивных и маркирующих горизонтов и тел, границы их распространения и глубины залегания. В зависимости от видов проведенных геофизических исследований и особенностей геологического строения в качестве основных могут быть приняты результаты гравиметрических, сейсмических, электроразведочных и других видов геофизических работ. Вторую часть нагрузки геофизической карты составляют данные радиометрических съемок в различных модификациях.

Нагрузка геохимической карты по содержанию близка к таковой для карт среднего масштаба. Дополнительно при крупномасштабном прогнозе желательно использовать геохимические признаки, основанные на отношениях содержаний различных химических элементов в породах конкретных фациальных зон, в том числе и в зонах фосфатонакопления. В этом случае возможны не только прогнозирование фосфоритовых залежей как таковых, но и дифференциация их по содержанию.

Полевые исследования при локальном прогнозе обязательны. По сравнению с региональным прогнозированием они отличаются большей детальностью геологических наблюдений, с одной стороны, и значительным увеличением доли геофизических и геохимических работ, виды которых определяются конкретными условиями на территории прогнозирования, — с другой. Во время полевых работ по возможности уточняется положение в разрезах узких стратиграфических горизонтов, с которыми ассоциируют фосфоритовые руды, связь последних с определенными породами и фациальная приуроченность. Фациальные и литологические наблюдения во время полевых работ должны проводиться более углубленно с определением характерных минеральных ассоциаций, которые могут быть использованы как критерии локализации фосфоритовых руд. Изучение метаморфизованных отложений, которые характерны для месторождений микрозернистых фосфоритовых руд, должно сопровождаться выяснением их первичноосадочной природы. С помощью геофизических и геохимических методов, которые должны основываться на опорных скважинах и разрезах, добывается дополнительная информация, уточняющая структуру и границы распространения продуктивных горизонтов и тел или маркирующих фосфоритовые руды горизонтов.

Основой прогнозной карты при локальном прогнозировании является либо структурная, либо литолого-фациальная карты с элементами палеогеографии и палеотектоники, дополненные нагрузкой, отражающей фосфоритонасность и другие прогнозные критерии и поисковые признаки. Существенную часть этой основы должна составлять геофизическая или геохимическая информация, подтверждающая расщифровку структурного положения, границ распространения и качественных особенностей оруденения по площади и на глубину. За рамку карты выносятся обзорная карта, показывающая положение исследуемого района на территории региона, а также схема возрастного положения фосфоритовых руд и связанных с ними пространственно осадочных полезных ископаемых (марганца, ванадия, стронция и др.).

Прогнозная карта-накладка строится в соответствии с общими рекомендациями.

Методика поисковых работ

Подстадия общих поисков. Методика поисковых работ на зернистые и микрозернистые фосфоритовые руды также в значительной степени определяется особенностями геологического строения того или иного конкретного района. В зависимости от этого существенно различаются комплексы поисковых методов, сеть наблюдений и др. Как и для прогнозных исследований, для поисков можно выделить два основных случая, требующих различных подходов при выполнении работ: поиски месторождений микрозернистых (редко в отдельных местах зернистых) руд в сильно дислоцированных районах со сложными

иски месторождений зернистых (редко зернистых) руд в простых по геологическому строению

Выявление участков с промышленными залежами микрозернистых фосфоритовых руд и слеживание продуктивных горизонтов в районах связано с большим трудом. В таких случаях должны проводиться комплексные геофизические и геохимические исследования. Состав этого комплекса может изменяться в зависимости от особенностей района. В ряде случаев целесообразны поиски на микрозернистые руды в районах с наличием монотонных карбонатных пород и продуктивных горизонтов и уточнением структуры и состава пород этой серии. Иногда такое расщепление работ может быть произведено по данным геофизических исследований, в частности, по характерным соотношениям между показателями геофизических исследований и геологическим строением районов и поэтому определяются в результате опытных работ.

Общие поиски в сложных по геологическому строению районах целесообразно проводить поэтапно с использованием легких методов, таких как маршрутные геофизические исследования, аэрофотометоды, аэромагнитная съемка (если она равна в плане с геохимическим и шлиховое опробование). Задачами этих работ являются локализовать главные объемы работ на перспективных участках. Это относится прежде всего к буровым работам.

Аэрофотометоды, сопровождающиеся геохимическими исследованиями, выполняются таким же образом, как и геохимические исследования, в съемке среднего и крупного масштаба. В ряде случаев удается откартировать выходы на поверхности карбонатных и кремнистых пород, а также микрозернистых горизонтов, уточнить структуру и состав пород. Эти методы являются ценными для уточнения геологической основы и определения перспективных участков, естественных областей распространения

Аэрогаммаспектрометрия и аэромагнитная съемка для уточнения геологического строения районов с микрозернистыми фосфоритовыми породами, а также перекрывающими их породами, являются обычными. В таких районах обычно характеризуются повышенными содержаниями калия и натрия, поэтому приобретают роль и прямых поисковых методов. В таких районах определяются зоны перехода в микрозернистые (кремнистые, кремнисто-терригенные) породы, в которых обычно приурочены залежи фосфоритовых руд. В районе ратауском бассейне по общей радиогенной съемке выявлены каройские метаморфизованные кремнистые породы, в которых обнаружены микрозернистые фосфоритовые руды.

нозе обязательны.
м они отличаются
ий, с одной сторо-
еских и геохимиче-
етными условиями
время полевых ра-
зрезах узких стра-
ируют фосфорито-
родами и фаціаль-
ские наблюдения во-
олеес углубленно с
иаций, которые мо-
ации фосфоритовых
, которые характер-
ритовых руд, долж-
осадочной природы.
методов, которые
и разрезах, добира-
ая структуру и гра-
ов и тел или марки-

прогнозировании яв-
альная карты с эле-
дополненные нагруз-
е прогнозные крите-
часть этой основы
имическая информа-
ного положения, гра-
остей оруденения по-
сятся обзорная кар-
айона на территории
я фосфоритовых руд
ных полезных иско-

ответствии с общими

овых работ на зер-
также в значитель-
гического строения
ности от этого су-
методов, сеть на-
заний, для поисков
их различных под-
дений микрозерни-
д в сильно дисло-
строением и по-

нски месторождений зернистых (редко микрозернистых) фосфори-
товых руд в простых по геологическому строению районах.

Выявление участков с промышленным оруденением, особенно
слепых залежей микрозернистых фосфоритовых руд, а также про-
слеживание продуктивных горизонтов в сложно дислоцированных
районах связано с большими трудностями. Поисковые работы в
таких случаях должны проводиться с применением широкого
комплекса геофизических и геохимических методов (табл. 21).
Состав этого комплекса может изменяться в зависимости от изу-
ченности района. В ряде случаев особенностью подстадии общих
поисков на микрозернистые руды является необходимость расчле-
нения монотонных карбонатных толщ с выделением маркирую-
щих горизонтов и уточнением структурного положения продуктив-
ной серии. Иногда такое расчленение карбонатных толщ может
быть произведено по данным геофизических или геохимических
методов, в частности, по характерным элементам-индикаторам и
их отношениям. Эти показатели могут быть различными для раз-
ных районов и поэтому определяются эмпирически на основе
опытных работ.

Общие поиски в сложных по геологическому строению районах
целесообразно проводить поэтапно с применением сначала серии
легких методов, таких как маршрутные исследования по естест-
венным обнажениям, аэрофотометоды, аэрогаммаспектрометрия,
аэромагнитная съемка (если они ранее не проводились), литогео-
химическое и шлиховое опробование. Задача этого комплекса —
локализовать главные объемы работ на отдельных, наиболее ин-
тересных участках. Это относится прежде всего к горнопроходче-
ским и буровым работам.

Аэрофотометоды, сопровождающиеся дешифрированием сним-
ков, выполняются таким же образом, как и при геологической
съемке среднего и крупного масштаба. С их помощью в ряде слу-
чаев удается откартировать выходы на дневную поверхность кар-
бонатных и кремнистых пород, а иногда и собственно фосфорито-
носных горизонтов, уточнить структуру и строение фосфоритоно-
сных комплексов пород. Эти методы используются в основном для
уточнения геологической основы и определения планируемых для
изучения участков, естественных обнажений и др.

Аэрогаммаспектрометрия и аэромагнитная съемка проводятся
для уточнения геологического строения района исследований. Фос-
форитоносные породы, а также перекрывающие их рыхлые отло-
жения обычно характеризуются повышенной радиоактивностью и
поэтому приобретают роль и прямых поисковых методов. Этими
методами определяются зоны перехода карбонатных пород в алю-
мосиликатные (кремнистые, кремнисто-терригенные и др.), к ко-
торым обычно приурочены залежи фосфоритов. Например, в Ка-
ратауском бассейне по общей радиоактивности различаются мало-
каройские метаморфизованные кремнистые сланцы и шабактин-
ские доломиты, между которыми залегает фосфоритоносная чу-
лактауская свита.

Основные методы исследований, рекомендуемые в подстадии общих поисков на микрозернистые фосфоритовые руды

Методы	Особенности методики	Основные решаемые задачи	Условия применения и ограничения
Аэрофотометоды	<p>Дешифрирование снимков масштаба 1:25 000 и аэровизуальные наблюдения</p> <p>В масштабе поисков или крупнее с детализацией на отдельных площадях</p> <p>Масштаб 1:25 000—1:50 000 с детализацией аномалий</p> <p>Масштаб 1:25 000—1:50 000, в комплексе с аэрогаммаспектрометрией</p> <p>а) автогамма-пенсходная гамма-съемка, эманационная съемка</p> <p>б) магниторазведка, гравитразведка и другие методы</p> <p>в) фторометрия, нейтроно-активационный каротаж</p> <p>а) маршрутные литогеохимические съемки с детализацией на отдельных участках</p> <p>б) опробование по коренным породам</p> <p>На фосфатные минералы и минералы-индикаторы</p>	<p>Выделение маркирующих горизонтов, региональных структур, основных литологических комплексов</p> <p>Выявление и прослеживание фосфоритовых руд, уточнение деталей строения месторождений, определение параметров залежей фосфоритовых руд, их пространственного положения и качества</p> <p>Выявление радиоактивных аномалий, связанных с фосфоритовыми рудами и маркирующими литологическими горизонтами</p> <p>Уточнение геологического строения</p> <p>Уточнение границ и строения выявленных аномалий, связанных с фосфоритовыми рудами</p> <p>Определение глубинного строения, структуры перспективных участков</p> <p>Оконтуривание продуктивных отложений</p> <p>Выявление ореолов рассеяния фосфора и элементов-индикаторов и геохимических аномалий</p> <p>Расчленение разрезов, выделение маркирующих горизонтов, прослеживание рудных тел на выделенных перспективных участках</p> <p>Выявление механических ореолов рассеяния фосфоритов и связанных с ними полезных ископаемых и минералов (марганец, ванадий и др.)</p>	<p>Ограничений нет</p> <p>Ограничений нет. Основной метод поисков</p> <p>В облаженных районах, при мощности рыхлых отложений не более 5—10 м</p> <p>Ограничений нет</p> <p>Методы выбираются в зависимости от необходимости с учетом облаженности</p> <p>В соответствии с общими методическими рекомендациями по применению геофизических методов</p> <p>На достаточном облаженном площадях</p> <p>Используются ранее полученные данные. При необходимости проводится специально</p> <p>При условии дифференциации литологически однородных толщ по содержанию элементов-индикаторов или по их соотношениям</p> <p>Используются данные ранее проведенных работ. При необходимости проводится дополнительно</p>
Геологические	<p>Геологическая съемка, маршруты, выработка</p>		
Аэрогаммаспектрометрия			
Аэрогамма-съемка			
Наземные геофизические			
Геохимические			
Шлиховое			

В число наземных методов, проводимых методами, могут входить маршрутная съемка, литогеохимическая съемка. Методика их проведения определяется с учетом условий и строения района работ.

В результате выполнения работ выделяются участки для дальнейшего отбраковки неперспективных участков и дальнейшие поисковые работы. Весь последующий этап является заключительным этапом выполнения последней задачи.

На выделенных таким образом участках работы проводятся геологическими, геохимическими методами в основном в виде сетки 20—50×200—500 м. Из геофизических методов, наиболее эффективных в этих условиях, может быть целесообразным применение методов — изучение глубинного строения участков. Радиометрические методы применяются с целью детализации выявленных зон. В них охватываются и все горные выходы. Геохимические методы целесообразно применять на выбранных под детальные поиски участках. Большая часть объема буровых и горных работ направлена на изучение строения участков. Радиометрические методы применяются с целью детализации выявленных зон. В них охватываются и все горные выходы. Геохимические методы целесообразно применять на выбранных под детальные поиски участках. Большая часть объема буровых и горных работ направлена на изучение строения участков.

Общие поиски на зернистые фосфориты с применением преимущественно геофизических методов (табл. 22). Это обусловлено тем, что в процессе формирования зернистых фосфоритовых руд в кайнозойских осадочных образованиях, в частности, процессами метаморфизма и характерными для них явлениями (например, ра) пологим залеганием слоев и выделением отдельных месторождений (Сирак, и др.) составом. Поэтому даже общие поиски на фосфориты обычно сводятся к прослеживанию зон с повышенным содержанием фосфора. Специально продуктивных горизонтов и аномалий выявлять не приходится. Мышленными рудами, приуроченными к склонам синеклиз и антеклиз в пределах нальных и синклинальных складок.

Прослеживание продуктивных или перспективных горизонтов на зернистые фосфориты может осуществляться геофизическими методами, базирующимися на радиометрических, гравитационных, магнитометрических или посредством бурения сети неглубоких скважин или шурфов. В качестве геофизических методов для расшифровки структурного положения продуктивных горизонтов, могут быть применены также сейсмические методы в микросейсмических вариантах, а также иногда гравитационная съемка. Ведущий геофизический метод выбирается на основе небольшого объема

торов или по их отношениям
Используются данные ранее про-
веденных работ. При необходи-
мости проводится дополнительно

жизнине рудных тел на выделен-
ных перспективных участках
Выявление механических ореолов
рассеяния фосфоритов и связанных
с ними полезных ископаемых и
минералов (марганец, ванадий
и др.)

родам
На фосфатные минералы и ми-
нералы-индикаторы

Шлиховое
опробование

В число наземных методов, проводящихся одновременно с аэрометодами, могут входить маршрутная автогамма-, или пешеходная съемка, литогеохимическая съемка и шлиховое опробование. Методика их проведения определяется общими положениями с учетом условий и строения района работ.

В результате выполнения работ комплексом легких методов выделяются участки для дальнейшего изучения, осуществляется отбраковка неперспективных участков и выбор площадей под детальные поиски. Весь последующий комплекс работ подчинен выполнению последней задачи.

На выделенных таким образом участках дальнейшие поисковые работы проводятся геологическими, геофизическими и геохимическими методами в основном в виде площадных съемок по сети 20—50×200—500 м. Из геофизических методов, в зависимости от условий, может быть целесообразным проведение гравиразведки, электроразведки и сейсморазведки. Основная задача этих методов — изучение глубинного строения выделенных перспективных участков. Радиометрические методы проводятся главным образом с целью детализации выявленных аномалий, при этом наблюдения охватываются и все горные выработки и скважины. Из геохимических методов целесообразно опробование коренных пород. На выбираемых под детальные поиски участках задалживается большая часть объема буровых и горных работ.

Общие поиски на зернистые фосфоритовые руды проводятся с применением преимущественно геофизических и геологических методов (табл. 22). Это обусловлено тем, что промышленные месторождения зернистых фосфоритовых руд известны только в мезокайнозойских осадочных образованиях, не затронутых, как правило, процессами метаморфизма и характеризующихся (за исключением отдельных месторождений Сирии, Израиля, Туниса и Алжира) пологим залеганием слоев и выдержанностью литологического состава. Поэтому даже общие поиски зернистых фосфоритовых руд обычно сводятся к прослеживанию продуктивных или потенциально продуктивных горизонтов и выявлению участков с промышленными рудами, приуроченными к благоприятным структурам — склонам синеклиз и антеклиз или крыльям брахиантиклинальных и синклинальных складок.

Прослеживание продуктивных или потенциально продуктивных горизонтов на зернистые фосфоритовые руды производится или посредством бурения сети неглубоких скважин, или геофизическими методами, базирующимися на редкой сети буровых скважин или шурфов. В качестве геофизических методов, пригодных для расшифровки структурного положения и прослеживания продуктивных горизонтов, могут быть применены радиометрические либо сейсмические методы в микросейсмическом варианте, реже в других вариантах, а также иногда гравиразведка и электроразведка. Ведущий геофизический метод или комплекс этих методов выбирается на основе небольшого объема опытных работ приме-

Основные методы исследований, рекомендуемые в подстадию общих поисков на зернистые фосфоритовые руды

Методы	Особенности методики	Основные решаемые задачи	Условия применения и ограничения
Геологические (геологическая съемка, поисковые маршруты, проходка горных выработок)	Проводятся по обнажениям и редкой сети горных выработок (скважин, канав, шурфов)	Уточнение геологического строения, определение параметров фосфоритовых залежей, условий их залегания и качества. Прослеживание фосфоритовых отложений	По профилям, на выявленных по геофизическим данным структурах. Расстояние между профилями 1,5—3 км, между выработками или скважинами 300 м — 3 км
Гамма-спектрометрия и фторометрия	Проводятся как на автомобильном транспорте, так и в пешеходных вариантах	Оконтуривание продуктивных залежей	Площадные съемки (при условии обнаженности), гамма-спектрометрия и фторометрия скважин, шурфов, канав
Сейсмические	Микросейсмопрофилирование	Определение структурного строения площади, прослеживание продуктивных горизонтов	Ограничений нет. Недостаток — высокая стоимость работ
Гравиразведка	Точность два миллигала и выше	Выявление погребенных антиклинальных структур по локальным максимумам силы тя- жести	Глубины до нескольких сот метров. Структуры размером 2—3×6—7 км и более
Электроразведка	Метод ВЭЗ	Выявление мелких структур, прослеживание продуктивных горизонтов, определение глубин их залегания	Наличие аномальных по электропроводимости маркирующих горизонтов в продуктивной толще

нительно к каждому конкретному району ностей его геологического строения.

При рекогносцировочных поисках шихся в Северной Африке в основном с шую помощь в прослеживании горизонтов условиях пустынных и полупустынных метрические исследования и дешифрирование выполненных в масштабе 1 : 25 000.

При поисках зернистых руд путем показывает опыт работ в Западной Сибири [1971], Сирии и Средней Азии, рудными профилями может составлять 1—3 км. стояния между профилями и скважинами ями залегания и фациальной выдержанности горизонтов. Для ускорения и повышения работ в начале производится бурением бором керна. Отобранный каменный материал метрическими и ядерно-физическими методами (гамма-спектрометрия и фторометрия). Используя благоприятных условиях рядовые скважины проходить бескерновым бурением с обгамма-спектрометрических или фторометрических исследований. Обычно каждый бассейн характеризуется особенностями в характере радиоактивности учитывать.

Зернистые фосфоритовые руды обильную породу, поэтому выход керна вращении инструмента происходит разрушением и вынос буровым раствором фосфатных могут быть допущены ошибки при определении продуктивного горизонта и качества руд. Поэтому гамма-спектрометрии и фторометрии методами при оценке проявлений и месторождений.

Целесообразность использования геофизических методов с целью сокращения определяется с учетом их эффективности возможности сокращения затрат на поисковые работы. Пожалуй, наиболее эффективными являются погребенных структур и прослеживания их, но в то же время наиболее трудоемким и сейсмических методов, выявление погребенных с помощью гравиметрической съемки в масштабе 1 : 500 000. По данным Р. Ф. Володарского с помощью гравиметрии в благоприятных условиях клинальные погребенные структуры с размерами 6—7×2—3 км. Глубина их залегания до 1 км. Недостаток гравиметрической

нительно к каждому конкретному району поисков с учетом особенностей его геологического строения.

При рекогносцировочных поисковых исследованиях, проводившихся в Северной Африке в основном с помощью бурения, большую помощь в прослеживании горизонтов фосфоритовых руд в условиях пустынных и полупустынных районов оказывали радиометрические исследования и дешифрирование аэрофотоснимков, выполненных в масштабе 1 : 25 000.

При поисках зернистых руд путем разбуривания по сети, как показывает опыт работ в Западной Сахаре, Египте [Said R., 1971], Сирии и Средней Азии, расстояние между поисковыми профилями может составлять 1—3 км, а между скважинами на профилях — от 300 м до 3 км. В каждом конкретном случае расстояния между профилями и скважинами определяются условиями залегания и фациальной выдержанностью фосфоритоносных горизонтов. Для ускорения и повышения экономичности поисковых работ в начале производится бурение опорных скважин с отбором керна. Отобранный каменный материал исследуется радиометрическими и ядерно-физическими методами (гамма-спектрометрия и фторометрия). Используя полученные данные, при благоприятных условиях рядовые скважины в дальнейшем можно проходить бескерновым бурением с обязательным проведением гамма-спектрометрических или фторометрических каротажных исследований. Обычно каждый бассейн характеризуется своими особенностями в характере радиоактивности руд, которые следует учитывать.

Зернистые фосфоритовые руды обычно представляют собой рыхлую породу, поэтому выход керна из них очень низок. При вращении инструмента происходит разрушение фосфоритовых руд и вынос буровым раствором фосфатных зерен, в результате чего могут быть допущены ошибки при определении мощности продуктивного горизонта и качества руд. Поэтому скважинные варианты гамма-спектрометрии и фторометрии могут стать главными методами при оценке проявлений и месторождений.

Целесообразность использования при поисках тех или иных геофизических методов с целью сокращения объемов бурения определяется с учетом их эффективности в данных условиях и возможности сокращения затрат на поиски. Сейсморазведка является, пожалуй, наиболее эффективным методом для определения погребенных структур и прослеживания продуктивных горизонтов, но в то же время наиболее трудоемким и дорогостоящим. Помимо сейсмических методов, выявление погребенных структур возможно с помощью гравиметрической съемки в масштабе 1 : 100 000—1 : 500 000. По данным Р. Ф. Володарского с соавторами, с помощью гравиметрии в благоприятных условиях выделяются антиклинальные погребенные структуры с амплитудой 30—50 м и размерами 6—7×2—3 км. Глубина их залегания может превышать 1 км. Недостаток гравиметрической съемки — слабая разрешающая способность, ограничивающая возможность ее применения

для выявления более мелких структур. Из электроразведочных методов при условии наличия благоприятного геоэлектрического разреза может быть применен метод ВЭЗ (см. табл. 22).

Основным требованием при использовании геофизических работ во время поисков рассматриваемых типов фосфоритовых руд является обеспечение их сетью опорных скважин. Поисковое бурение проводится на тех участках, где по результатам проведенных геофизических исследований установлено наличие благоприятных структур для локализации фосфоритовых руд.

Методика детальных поисков и поисково-оценочных работ. Месторождения фосфоритовых руд рассматриваемых типов по сравнению с месторождениями некоторых других полезных ископаемых характеризуются большими размерами и обычно правильной формой залежей. В большинстве случаев для передачи их в предварительную разведку вполне достаточно лишь две подстадии поисковых работ: общие поиски и детальные поиски. Необходимость выполнения полного комплекса поисковых работ, включая подстадию поисково-оценочных, может возникнуть лишь в случаях проведения работ на площадях в сложных по геологическому строению условиях и при наличии других факторов, затрудняющих оценку месторождений. В этих случаях поисково-оценочные работы по своему характеру оказываются переходными к предварительной разведке и выполняются в основном посредством проходки скважин и горных выработок с опробованием по несколько более разреженной сети, чем это установлено инструкциями для предварительной разведки.

Детальные поиски проводятся на отдельных ограниченных площадях, перспективность которых уже доказана не только комплексом благоприятных прогнозных критериев, но и обнаружением фосфоритовых руд. Методика выполнения детальных поисков близка к методике оценки перспективных участков, выделенных на площади работ в подстадию общих поисков. При этом специфика работ, вытекающая из особенностей микроструктурных и зернистых фосфоритовых руд и закономерностей их размещения, описанная для общих поисков, сохраняется и для подстадии детальных поисков. Особенности детальных поисков на микроструктурные и зернистые фосфоритовые руды по сравнению с общими поисками следующие: 1) большая детальность работ; 2) применение в качестве основных поисковых методов детальной крупномасштабной съемки и необходимых объемов горных выработок и бурения в комплексе с геофизическими и геохимическими методами; 3) увеличение роли более трудоемких геофизических методов (сейсморазведка, электроразведка); 4) еще большая зависимость методических приемов от строения и геологических особенностей конкретной площади исследования; 5) большие объемы опробования, обеспечивающие дифференциацию залежей по качеству и типу руд; проведение предварительной технологической оценки руд.

При проведении детальных поисковых работ (как и общих поисков) методические приемы определяются применительно к двум

Методы исследований, рекомендуемые в подстадии детальных поисков и поисково-оценочных работ на микроструктурные и зернистые фосфоритовые руды

Методы	Площади со сложным геологическим строением		Площади с простым геологическим строением	
	Решаемые задачи	Условия применения	Решаемые задачи	Условия применения
Геологическая съемка, проходка скважин и горных выработок	Выяснение геологического строения, стратиграфии, тектоники, условий залегания	Сеть: 0,5—2 км × 200—500 м	Определение условий залегания и параметров залежей, прослеживание их	Сеть: 1—3 км × 200—500 м
Опробование	Оконтурирование рудных залежей	По обнажениям и выработкам	Оконтурирование рудных залежей	По обнажениям и выработкам
Технологические исследования	Предварительная технологическая оценка руд	То же	Предварительная технологическая оценка руд	То же
Электроразведка (м-д ВЭЗ)	Уточнение структурных и			

Таблица 23
Методы исследований, рекомендуемые в подстанции детальных поисков и поисково-оценочных работ на микрозернистые и зернистые фосфоритовые руды

Методы	Площадки со сложным геологическим строением		Площадки с простым геологическим строением	
	Решаемые задачи	Условия применения	Решаемые задачи	Условия применения
Геологическая съемка, проходка скважин и горных выработок	Выяснение геологического строения, стратиграфии, тектоники, условий залегания	Сеть: 0,5—2 км × 200—500 м	Определение условий залегания и параметров залежей, прослеживание их	Сеть: 1—3 км × 200—500 м
Опробование	Оконтуривание рудных залежей	По обнажениям и выработкам	Оконтуривание рудных залежей	По обнажениям и выработкам
Технологические исследования	Предварительная технологическая оценка руд	То же	Предварительная технологическая оценка руд	То же
Электроаэвид (метод ВЭЗ)	Уточнение структуры и глубины залегания руд	Благоприятный геологический разрез	Определение глубины залегания руд	Благоприятный геологический разрез
Сейсмопрофилирование	Уточнение структуры месторождений	Дифференциация разреза	Уточнение структуры месторождений	Дифференциация разреза
Геохимическое опробование коренных пород	Расчленение разреза, прослеживание продуктивных горизонтов	Хорошая обнаженность	Прослеживание продуктивных и маркирующих горизонтов	Хорошая обнаженность
Ядерно-физические	Оконтуривание залежей, определение содержания P_2O_5 и других компонентов	То же	То же, что и при сложном строении	То же

главным категориям объектов (табл. 23). Более широкий комплекс методов применяется на площадях, характеризующихся сложным геологическим строением, что обычно для месторождений микрозернистых фосфоритовых руд. Объекты второй категории, к которым относятся большинство месторождений зернистых фосфоритовых руд, характеризующихся сравнительно простым строением, не требуют применения широкого комплекса разнообразных методов. Часто детальные поиски месторождений зернистых фосфоритовых руд сводятся главным образом к разбурированию небольших конседиментационных структур по редкой сети скважин, отстоящих друг от друга на расстояние до 3 км. Для уточнения особенностей качества руд это расстояние может быть сокращено до 1—1,5 км. Лишь в случае отсутствия информации о структурном строении исследуемой территории рекомендуется применение сейсморазведки, электроразведки и других методов. В ряде случаев бывает достаточно сведений по этому вопросу, полученных при предшествующем картировании и бурении; необходимость в проведении некоторых геофизических исследований отпадает.

Глава VI МЕСТОРОЖДЕНИЯ ФОСФОРИТОВ СВЯЗАННЫХ С ГЛАУКОНИТОМ ТЕРРИГЕННЫХ ФОРМАЦИЙ ИХ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ

ФОСФОРИТОНОСНЫЕ БАССЕЙНЫ ЖЕЛВАКОВЫХ ФОСФОРИТОВ И ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИХ

Фосфориты мезозоя и кайнозоя в форме относятся к глауконитовой группировке, к глауконит-терригенной формации. Это мощный комплекс юрских, меловых и палеогеновых фосфоритов [Шатский Н. С., 1955]. В ней может быть выделено несколько подформаций, закономерности: терригенная, карбонатная (меловая). Большая часть месторождений относится к терригенной субформации, меньшая часть — к глауконит-опоковой. Глауконит-терригенная имеет сложное положение в рядах субформаций: в основании ряда, в горизонтальной — с карбонатной и кремнистой. Она подстилается карбонатной субформацией, а перекрывается карбонатной. Граница ее — перерыв, верхняя граница — альба до палеогена (рис. 13).

Значение желвакового типа фосфоритов в балансе фосфатных руд невелико (он возрастает в СССР, где они занимают по запасам (около 25%), так и по добыче запасы их сосредоточены в пределах Восточного и Актюбинского фосфоритных бассейнов, объединяются в фосфоритноносную провинцию восточной платформенной области [Соколов А. С., 1974]. В ней насчитывается до 250 месторождений.

Месторождения желваковых фосфоритов в аналогичной формации, обнаружены в западном бассейне. Известны они и в Венгрии (Бельгия, Франция, Великобритания и др.). В последние желваковые руды лишь в единичных случаях предметом разработки.

**МЕСТОРОЖДЕНИЯ ФОСФОРИТОВЫХ РУД,
СВЯЗАННЫХ С ГРУППОЙ
ТЕРРИГЕННЫХ ФОРМАЦИЙ;
ИХ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ И ПОИСКИ**

**ФОСФОРИТОНОСНЫЕ БАССЕЙНЫ И МЕСТОРОЖДЕНИЯ
ЖЕЛВАКОВЫХ ФОСФОРИТОВЫХ РУД
И ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИХ РАЗМЕЩЕНИЯ**

Фосфориты мезозоя и кайнозоя Восточно-Европейской платформы относятся к глауконитовой группе формаций, или, в иной трактовке, к глауконит-терригенной формации, которая охватывает мощный комплекс юрских, меловых и палеогеновых отложений [Шатский Н. С., 1955]. В ней может быть выделен следующий ряд глауконитовых субформаций, закономерно сменяющихся во времени: терригенная, карбонатная (меловая) и кремнистая (опоковая). Большая часть месторождений связана с глауконит-терригенной субформацией, меньшая часть — с глауконит-карбонатной и глауконит-опоковой. Глауконит-терригенная субформация занимает сложное положение в рядах субформаций: в вертикальных — в основании ряда, в горизонтальных — местами переклинивается с карбонатной и кремнистой. Она подстилается терригенной субформацией, а перекрывается карбонатной и кремнистой. Нижняя граница ее — перерыв, верхняя скользит во временной шкале от альба до палеогена (рис. 13).

Значение желвакового типа фосфоритовых руд, связанных с глауконит-терригенной фосфоритоносной формацией, в мировом балансе фосфатных руд невелико (около 3,5%). Их роль резко возрастает в СССР, где они занимают одно из ведущих мест как по запасам (около 25%), так и по добыче (10—11%). Основные запасы их сосредоточены в пределах Волжского, Днепровско-Донецкого и Актюбинского фосфоритоносных бассейнов, которые объединяются в фосфоритоносную провинцию Восточно-Европейской платформы [Соколов А. С., 1974]. В пределах этой провинции насчитывается до 250 месторождений.

Месторождения желваковых фосфоритовых руд, приуроченные к аналогичной формации, обнаружены также в Тунгусско-Виллюйском бассейне. Известны они и в некоторых зарубежных странах (Бельгия, Франция, Великобритания и некоторые др.), однако для последних желваковые руды лишь в единичных случаях являются предметом разработки.

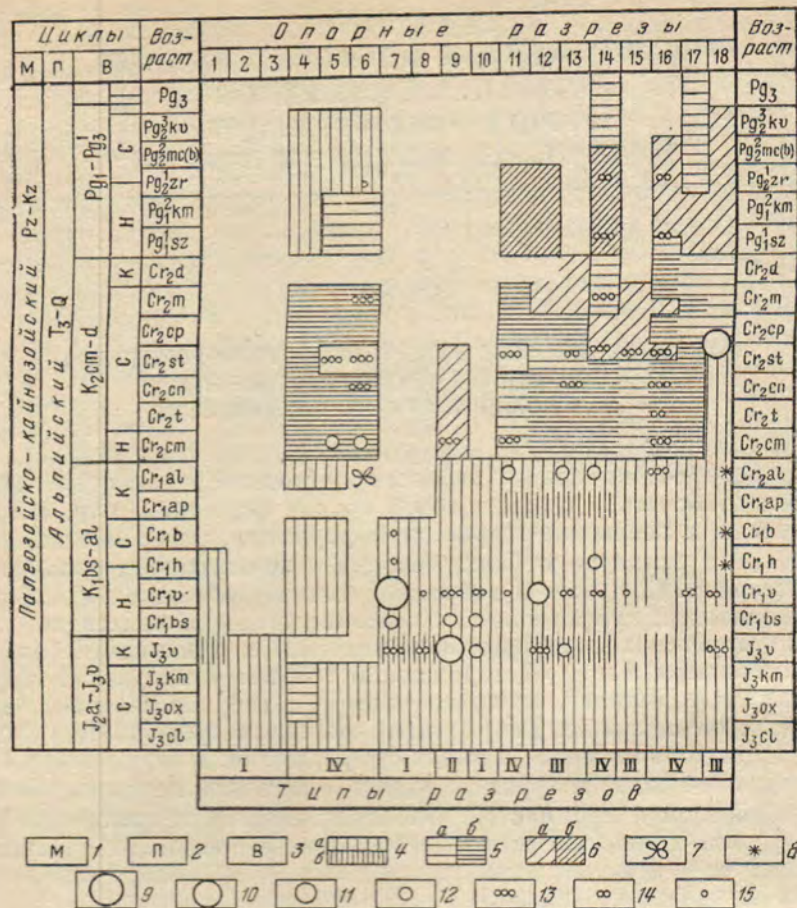


Рис. 13. Схема строения глауконит-терригенной фосфоритоносной формации Восточно-Европейской платформы. По Г. Н. Шубакову.

1-3 — циклы геологического развития Восточно-Европейской платформы: 1 — мега, 2 — первого порядка, 3 — второго порядка (Н — начало, С — середина, К — конец цикла второго порядка); 4-6 — типы фосфоритоносных субформаций: 4 — глауконито-терригенный (а — собственно глауконито-терригенная, б — глауконито-терригенная со сланцами), 5 — глауконито-карбонатная (а — глауконито-известняковая, б — глауконито-меловая), 6 — глауконито-кремнистая (а — собственно глауконито-кремнистая, б — глауконито-сиококовая); 7 — остатки наземных растений; 8 — красноцветность; 9-12 — месторождения фосфоритовых руд: 9 — весьма крупные, 10 — крупные, 11 — средние, 12 — мелкие; 13-15 — проявления фосфоритовых руд: 13 — многочисленные, 14 — встречаются обычно, 15 — редкие.

Типы разрезов фосфоритоносных субформаций: I — простой — глауконитовый терригенный; II — двухчленный — глауконитовый кремнисто-терригенный; III — трехчленный — глауконитово-кремнисто-карбонатно-терригенный или карбонатно-кремнисто-терригенный; IV — сложный — чередование глауконитовых кремнисто-карбонатно-терригенных, кремнисто-терригенно-карбонатных или карбонатно-терригенных.

Опорные разрезы: 1 — Печорская синеклиза; 2 — Тиманская антеклиза; 3 — Мезенская синеклиза; 4-6 — Днепровско-Донецкая синеклиза: 4 — северо-западная часть, 5 — центральная часть, 6 — юго-восточная часть; 7-14 — Московская синеклиза: 7 — Верхне-Камская впадина, 8 — Волго-Двинский водораздел, 9 — Верхнее Поволжье, 10 — Рязано-Саратовский прогиб (северная часть), 11 — Пензо-Муромский прогиб (северная часть); 12-14 — Ульяновско-Саратовский прогиб: 12 — северная часть, 13 — центральная часть, 14 — южная часть (рай-

Характеристика глауконит-терригенной формации и связанных с ней месторождений руд приводится по результатам камеральных работ и материалам В. И. Бондарева, Г. А. Гапеевой, В. М. Головкина, Л. И. Диденко, А. Н. Диденко, О. Г. Лазура, М. И. Полянина, Ю. С. Рубцова, В. Г. Степановой, Ю. С. Тамойкина, В. И. Уфлянд, Г. Н. Шубакова и широкой опубликованной литературе.

Волжский бассейн

Волжский бассейн включает район стично Нижнего Поволжья и Прикаспийского фосфоритонакопления была позднерифмовый ярус — валанжин). В бассейне известны проявления этого возраста.

К категории крупных месторождений относятся Ужское и Егорьевское, средних — месторождения р. Унжи, Привурнарское, Ибресинское, Липовское, Кимовское, Усть-Навское. Волжского фосфоритоносного бассейна в числе разведанных по категориям 3-5-140 и 207 млн. т P₂O₅. Большая часть разведанных запасов сосредоточена в Вятско-Камском и Егорьевском месторождениях.

По геолого-географическим признакам Волго-Камского бассейна выделяются три основных района: Верхнекамский (Вятско-Камский), включающий территорию Верхневолжский, включающий территорию Средневолжский, объединяющий территории Средневолжский и частично Нижнего Поволжья.

Фосфоритовая серия в пределах Волго-Камского бассейна обычно песчано-алевритового состава, содержащая от 10 до 20% фосфоритовых руд. Последние представляют собой фосфориты со значительным количеством фосфоритов фауны (ядер акул, аммонитов и др.).

В зависимости от характера строения фосфоритовых руд различают три типа разрезов: I — простой, II — двухчленный, III — трехчленный. В составе глауконит-терригенных субформаций выделяются четыре типа разрезов: I — глауконито-карбонатной субформации — глауконитовых разрезов (см. рис. 14). В этих разрезах развиты четыре типа разреза (табл. 14).

Первый тип разреза развит в трехчленном разрезе, в котором развиты глауконитовые, кремнисто-карбонатные, кремнисто-терригенные и карбонатно-терригенные

18	Возраст
	Pg ₃
	Pg ₂ ^{kv}
	Pg ₂ ^{mc(b)}
	Pg ₂ ^{zr}
	Pg ₁ ^{km}
	Pg ₁ ^{sz}
	Cr ₂ ^d
	Cr ₂ ^m
	Cr ₂ ^{cp}
	Cr ₂ st
	Cr ₂ ^{cn}
	Cr ₂ ^t
	Cr ₂ ^{cm}
*	Cr ₂ ^{av}
	Cr ₁ ^{ap}
*	Cr ₁ ^b
*	Cr ₁ ^h
	Cr ₁ ^v
	Cr ₁ ^{bs}
	J ₃ ^v
	J ₃ ^{km}
	J ₃ ^{ox}
	J ₃ ^{cl}
III	
	*
б	
15	

ой формации
у.

1 — мега, 2 —
цикла второго
ригенный (а —
ми), 5 — глауко-
6 — глауконито-
ал); 7 — остатки
говых руд; 9 —
ения фосфорито-
редке.

ый терригенный;
нный — глауко-
ригенный; IV —
кремнисто-тер-

Мезенская сисе-
5 — центральная
2-Камская впади-
Саратовский про-
14 — Ульяновско-
кая часть (рай-
часть, 16 — юго-
я часть (район
сейн)

Характеристика глауконит-терригенной фосфоритоносной формации и связанных с нею месторождений желваковых фосфоритовых руд приводится по результатам главным образом геологических работ и материалам В. И. Беляева, И. С. Боровской, Г. А. Гапеевой, В. М. Головова, Л. И. Горбуновой, В. И. Железко, А. Н. Диденко, О. Г. Лазура, М. И. Карповой, М. Х. Махлиной, В. А. Полянина, Ю. С. Рубцова, В. Г. Сагунова, А. П. Саранцева, Т. И. Степановой, Ю. С. Тамойкина, В. Р. Ткачева, В. И. Фоминского, Ц. И. Уфлянд, Г. Н. Шубакова, А. П. Ясырева и др. и обширной опубликованной литературе.

Волжский бассейн

Волжский бассейн включает районы Верхнего, Среднего, частично Нижнего Поволжья и Прикамья (рис. 14). Главной эпохой фосфоритонакопления была позднеюрско-раннемеловая (волжский ярус — валажин). В бассейне известно более 130 месторождений и проявлений этого возраста.

К категории крупных месторождений относятся Вятско-Камское и Егорьевское, средних — месторождения нижнего течения р. Унжи, Привурнарское, Ибресинское и мелких — все остальные (Липовское, Кимовское, Усть-Нейское и др.). Общие запасы Волжского фосфоритоносного бассейна 400 млн. т P_2O_5 , в том числе разведанные по категориям А+В+С₁ и С₂ соответственно 140 и 207 млн. т P_2O_5 . Большая часть последних сосредоточена в Вятско-Камском и Егорьевском месторождениях.

По геолого-географическим признакам в пределах рассматриваемого бассейна выделяются три самостоятельных фосфоритоносных района: Верхнекамский (Вятско-Камское месторождение), Верхневолжский, включающий территорию Егорьевского и Северского месторождений, а также месторождения Верхнего Поволжья, и Средневолжский, объединяющий группу месторождений Среднего и частично Нижнего Поволжья.

Фосфоритовая серия в пределах Волжского бассейна складывается обычно песчано-алевритовыми породами, в основном кварц-глауконитового состава, содержащими от 1 до 5 прослоев фосфоритовых руд. Последние представлены желваками и гальками фосфоритов со значительным количеством фосфатизированных остатков фауны (ядер ауцелл, аммонитов и др.).

В зависимости от характера взаимоотношений фосфоритовой серии с подстилающими и перекрывающими ее вмещающими породами в составе глауконит-терригенной и глауконит-кремнистой субформаций выделяются четыре (первый — четвертый), а в глауконит-карбонатной субформации — один (пятый) типы фосфоритоносных разрезов (см. рис. 14). В пределах Волжского бассейна развиты четыре типа разреза (табл. 24).

Первый тип разреза развит в пределах Верхне-Камского и Средневолжского фосфоритоносных районов (см. рис. 14). В структурном отношении он приурочен к Верхне-Камской впади-

Геологические показатели основных типов фосфоритоносных разрезов Волжского бассейна

Геологические показатели	Тип разреза		
	I	II	III
I — 5 0,05—1,9 0,35—2,9 0,35—11,23 0,73—6,5 6,13—19,55 0,36—5,42 35,6—56,40 8,33—20,76 0,73—11,01	II — 6 0,1—0,7, редко 2 0,25—2,45 0,65—7,3 3,3—7,87 3—13 0,3—2,4 43—74 7—9 0,9—1,07	III — 2 0,1—0,5 до 0,9 0,35—6,75 0,43—0,47 0,3—0,5 60—70 7—12 1—10	IV — 3 0,1—0,8 0,3—0,95 0,3—1,65 1—3 0,9 0,4 67—67 8—8 5—5

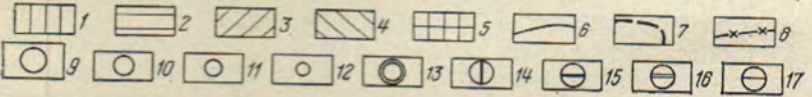
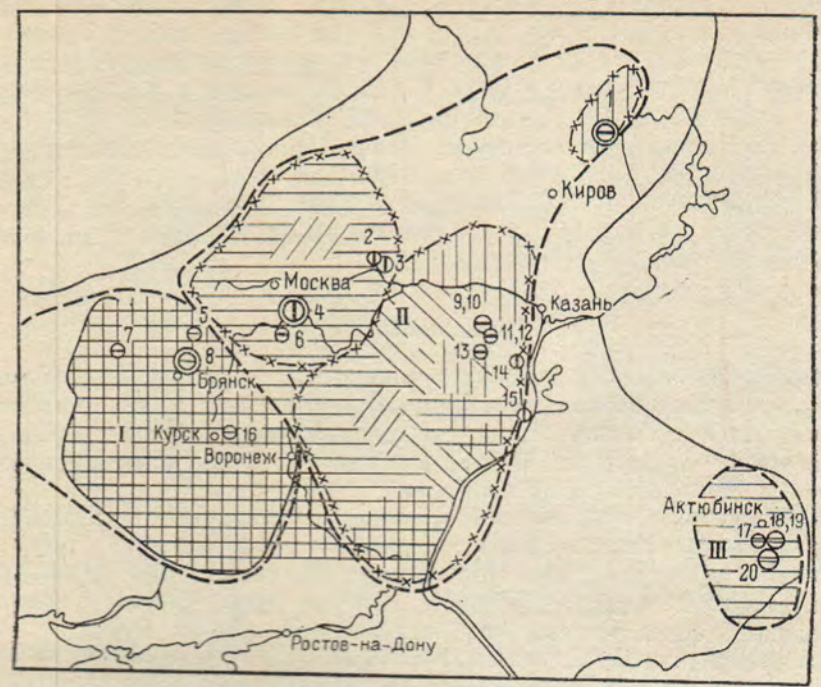


Рис. 14. Типы фосфоритоносных разрезов в Днепровско-Донецком (I), Волжском (II) и Актюбинском (III) бассейнах. По М. И. Карповой.

1—5 — типы фосфоритоносных разрезов: 1 — первый, 2 — второй, 3 — третий, 4 — четвертый, 5 — пятый; 6 — границы максимального распространения моря в позднеюрско-позднемеловую эпоху; 7 — контуры бассейнов; 8 — контуры районов; 9—12 — месторождения фосфоритовых руд: 9 — весьма крупное (Вятско-Камское — 1), 10 — крупное (Егорьевское — 4, Чилисайская группа месторождений — 20), 11 — средние (район среднего течения р. Унжи — 3, Полнинское — 8, Ибресинское — 9, Привурнарское — 10, Волгановское — 18, Коктюбинское — 19), 12 — мелкие (Усть-Нижское — 2, Слободско-Которецкое — 5, Кимовское — 6, Сожское — 7, Ораушанское — 11, Вожинское — 12, Вурнарское — 13, Липовское — 14, Батракское — 15, Щигровское — 16, Новоукраинское — 17); 13 — эксплуатируемые; 14—17 — возраст основных продуктивных горизонтов: 14 — волжский ярус верхней юры, 15 — берриасский и валанжинский ярусы нижнего мела, 16 — сеноманский ярус верхнего мела, 17 — сантонский и кампанский ярусы верхнего мела

не, Ульяновско-Саратовскому прогибу и склонам Токмовского и Жигулевско-Пугачевского сводов. Фосфоритоносная серия подстилается углисто-глинистыми горючими сланцами с прослоями известковых глин, алевролитов и мергелей волжского яруса, а перекрывается темно-серыми безызвестковистыми глинами готеривского или готерив-барремского ярусов. Горючие сланцы темно-серые, с буроватым оттенком, тонкоплитчатые, с многочисленными растительными и фаунистическими остатками. Они содержат (в %): P_2O_5 0,08—0,48; органическое вещество 20—55; кальцит 10—28; глинистый материал 35—55. Глины волжского яруса, за-

P_2O_5	0,08—0,48
CaO	10—28
CO ₂	35—55
SiO ₂	20—55
Al ₂ O ₃	0,08—0,48
Fe ₂ O ₃	10—28
MgO	35—55



Донецком (I), Волж-
И. Карповой.

третий, 4 — четвертый, озднеюрско-позднеме-
лесторожения фосфори-
(Егорьевское — 4, Чи-
о течения р. Унжи — 3,
ское — 18, Коктобин-
ское, Кимовское — 6, Сож-
новское — 14, Ватра-
емые: 14—17 — возраст
ры, 15 — берриасский и
мела, 17 — сартонский

Токмовского и
дая серия под-
и с прослоями
го яруса, а пе-
нинами готерив-
андцы темно-се-
рочисленными

Геологические показатели основных типов фосфоритоносных разрезов
Волжского бассейна

Таблица 24

Геологические показатели	Тип разреза			
	I	II	III	IV
фосфоритовых слоев фосфоритовых слоев, м мощность фосфоритовых фосфоритовых серий, м	1-5 0,05-1,9 0,35-2,9 0,35-11,21	1-6 0,1-0,7, редко 2 0,25-2,45 0,65-7,3	1-2 0,1-0,5 до 0,9 0,35-6,75	1-3 0,1-0,8 0,3-0,95 0,3-1,65
P ₂ O ₅ CaO CO ₂ SiO ₂ Al ₂ O ₃ Fe ₂ O ₃ Fe ₃ O ₄ MgO	0,73-6,5 6,13-19,55 0,36-5,42 35,6-56,46 8,33-20,78 6,73-11,81	3,3-7,87 3-13 0,3-2,4 4,3-5,4 7-9 9-17 0,9-1,57	0,43-0,47 0,3-0,5 50-73 12 4-19	1-3 0,9 0,4 52-67 7-8 3-5
P ₂ O ₅ CaO CO ₂ SiO ₂ Al ₂ O ₃ Fe ₂ O ₃ MgO Na ₂ O K ₂ O F C Org SO ₂	15,5-30,5 26,2-45 3,8-6 3,36 0,8-7 1,74-1,84 0,42-0,73 0,94-3,72 1,96-3,91 0,27-0,45	16-27 26-43 3-4 5,48-24 0,95-7 1,34-17 0,11-0,36 0,96 1,6-3,09 0,8-1,4 0,33-1,6	4-24 26-46 4-24 14-33 2,5-5 1,06-4,5	6-27 24,2-39,42 3,08 11,56-42,8 2,15-2,76 2,50-2,50 0,9-1,83 0,89-0,52 0,47-0,62 1,29-2,51 0,24-0,5 0,2-2,05
месторождений и проявле- ние запасы месторождений, л ₂ (данные на 1976 г.)	Вятско-Камское, Приуральское, Иб- рессинское и другие др. До 320	Егорьевское, Орловское, Доржиковское, Кушицкое, Андреевское и др. До 43,5	Село Унжа, Власовское, Габовское, Валдинское, Ври- кинское, Меллеельское, Па- льемельское и др. До 0,05	Чуратовское, Тархановское, Шурут-Нургулское, Сухоре- чское, Куратовское, Ать- менское и др. До 2,5

легающие на горючих сланцах или переслаивающиеся с ними, на 60—80% состоят из глинистых минералов с примесью пелитоморфного кальцита. Встречаются зерна глауконита (7—15, редко до 25%) и кварца (5—35%). Количество P_2O_5 в глинах изменяется от долей до 6,48%, CO_2 от 0,8 до 13,31%, Al_2O_3 от 15,65 до 19,53%.

Перекрывающие фосфоритовую серию известковистые глины готерив-баррема обычно слабо алевритовые, при этом количество алевритового материала увеличивается в нижней части. Примесь зернистого материала (кварца и глауконита) не превышает в них 10—15%; содержание P_2O_5 снижается до 0,06—1,36%.

В составе фосфоритовой серии принимают участие образования валанжинского, в меньшей степени берриасского и волжского ярусов, повсеместно представленные слабо известковистыми кварц-глауконитовыми песками и алевролитами, с заключенными в них прослоями фосфоритовых руд.

Характерным примером данного типа разреза является Вятско-Камское месторождение. В основании фосфоритовой серии здесь залегает базальный, так называемый «ауцелловый» горизонт, состоящий из перемытых желваков и фосфатизированных ядер ауцелл, местами сцементированных в плиту. Мощность горизонта 0,05—0,8 м, изредка 1 м. Выше залегает промышленный слой («желвачный») мощностью 0,5—1,9 м, в составе которого присутствуют шероховатые, большей частью овальной формы желваки фосфоритов размером до 20—25 см. Продуктивные образования этого слоя подразделяются на два-три фосфоритовых прослоя. Породы, разделяющие и перекрывающие их, представлены песками, слабо сцементированными песчаниками и алевролитами.

Общая мощность всей фосфоритовой серии 6 м. Строение ее различно в разных частях месторождения.

Пески, песчаники и алевролиты фосфоритовой серии относятся к слабо известковистым кварц-глауконитовым, реже глауконит-кварцевым разновидностям. Песчаники прослеживаются в нижней, а алевролиты преимущественно в верхней части разреза. Пески и песчаники мелкозернистые, в основании серии разнозернистые, алевритовые, глинистые. Они состоят из зерен глауконита размером 0,04—0,42 мм (40—70%), кварца 0,06—0,4 мм (7—20%) и глинистой цементирующей массы (25—40%). Кроме того, участками встречается кальцит (от 2—3 до 5—10%), сидерит (до 5—8%), стяжения и зерна фосфатного вещества (от 0,5 до 4—5%), выделения пирита (0,6—3%). В гранулометрическом составе песков преобладает мелкопесчаная 0,25—0,1 мм (45—47%) и алевритовая 0,1—0,01 мм (до 24—28%) фракции. В базальном «ауцелловом» горизонте фракции более 0,25 мм содержится 20%, а количество пелитовой фракции изменяется от 18 до 24%. Алевролиты по литологическим особенностям близки к песчаным породам и отличаются лишь размерностью зерен.

По петрографическим признакам среди фосфоритов различа-

товые и глауконит-кварцевые, а также уконитовые разновидности.

Основные породообразующие минералы — фосфат кальция 40—95; глауконит. Меньшее значение имеют кальцит (в смешаннослойных глинистых минералах 0,5—3,5%), опал. Аксессуарные минералы — мелкие зернами. В фосфоритах обнаружены органические остатки: спикул губок и др., составляющих до 10% в сухом остатке фосфоритов доменного горизонта (27—51%), содержание мелкопесчаной литовой — 12—18%.

Геохимической особенностью фосфоритов является высокое против кларка содержание бария (2,5 кларка), марганца (1,4 кларка), ванадия (4,2 кларка), редких земель, особенно вмещающих пород характерной изменчивостью.

Второй тип разреза распространен в породах Верхневолжского фосфоритового месторождения. Тектонически он связан с Подольским массивом. Литологическая серия здесь подстилается известковистыми глинами, а перекрывается кварцевыми песками, иногда содержащими значительные количества фосфоритов. В сложении ее принимают участие образования в меньшей степени берриасского, валанжинского и волжского ярусов. Это песчано-алевритовые и известковистые породы. Морфологически они представлены желвачными и доломитовыми фосфатными образованиями.

Фосфоритовая серия Егорьевского месторождения (в Верхневолжский) горизонт базальный. Он состоит из перемытых желваков и прослоев мощностью 1—10 см, а также многочисленных фосфоритовых фауны. Верхний — объединенный горизонт имеет мощность от 0,5 до 2 м и состоит из желваков фосфоритов, нередко имеющих шероховатую поверхность, размером 3 до 7 см.

Среди фосфоритов различают несколько разновидностей [Степанова Т. И., 1977]: песчано-глинистые, кварц-глауконитовые, кварц-глауконит-сидеритовые и др. Две последние встречаются только в доломитовом горизонте. Желваки фосфоритов состоят из кварца (40—95%), зерен глауконита (от 5 до 20%), сидерита (до 5—8%), кальцита (до 5—

ощиеся с ними, на
примесью пелито-
нита (7—15, редко
в глинах изменяет-
%, Al_2O_3 от 15,65

тквозистые глины
и этом количество
ей части. Примесь
превышает в них
36%.

участие образова-
ского и волжского
известковистыми
с заключенными

является Вятско-
товой серии здесь
ый» горизонт, со-
зирванных ядер
ощность горизонта
мышленный слой
которого присут-
формы желваки
вные образования
итовых прослоя.
едставлены песча-
евролитами.

м. Строение ее

й серии относятся
реже глауконит-
тся в нижней, а
разреза. Пески и
разнозернистые,
глауконита разме-
4 мм (7—20%) и
оме того, участка-
ерит (до 5—8%),
до 4—5%), выде-
и составе песков
7%) и алевроито-
альном «ауцелло-
ся 20%, а количе-
б. Алевролиты по
породам и отли-

оритов различа-

товые и глауконит-кварцевые, а также песчано-алевроитовые гла-
уконитовые разности.

Основные породообразующие минералы фосфоритов (в %):
фосфат кальция 40—95; глауконит от 3—5 до 32; кварц до 35.
Меньшее значение имеют кальцит (до 3%), сидерит (до 7—8%),
смешаннослойные глинистые минералы (от 2—3 до 5—8%), пирит
(0,5—3,5%), опал. Акцессорные минералы представлены единич-
ными зернами. В фосфоритах обнаруживается масса фосфати-
зированных органических остатков: фораминифер, радиолярий,
спикул губок и др., составляющих до 60—70% породы. В нерас-
воримом остатке фосфоритов доминирует алевроитовая фракция
(27—51%), содержание мелкопесчаной не превышает 25%, а пе-
литовой — 12—18%.

Геохимической особенностью фосфоритов является повышен-
ное против кларка содержание бария (4,2 кларка), кобальта
(2,5 кларка), марганца (1,4 кларка), стронция (2,5 кларка), цир-
кония (4,2 кларка), редких земель. Фосфоритовые руды относи-
тельно вмещающих пород характеризуются повышенной радиоак-
тивностью.

Второй тип разреза распространен главным образом в преде-
лах Верхневолжского фосфоритоносного района (см. рис. 14).
Тектонически он связан с Подмосковной зоной поднятий. Фосфо-
ритоносная серия здесь подстилается обычно известковистыми
глинами, а перекрывается кварцевыми песками и песчаниками,
иногда содержащими значительное количество железистых ооли-
тов. В сложении ее принимают участие образования волжского, в
меньшей степени берриасского, валанжинского и изредка альбско-
го ярусов. Это песчано-алевроитовые кварц-глауконитовые слабо
известковистые породы. Морфологически продуктивные слон
представлены желвачными и плитными, изредка гравийно-галеч-
ными фосфатными образованиями.

Фосфоритовая серия Егорьевского месторождения мощностью
до 7,3 м состоит из двух фосфоритовых горизонтов. Нижний (сред-
неволжский) горизонт базальный. Средняя мощность его 0,3 м;
состоит он из перемытых желваков и галек фосфоритов размером
1—10 см, а также многочисленных фосфатизированных остатков
фауны. Верхний — объединенный верхневолжско-берриасский го-
ризонт имеет мощность от 0,5 до 2 м и более.

Желваки фосфоритов, нередко сцементированные в плиту, име-
ют шероховатую поверхность, неправильную форму, размеры от
3 до 7 см.

Среди фосфоритов различают несколько петрографических
разновидностей [Степанова Т. И., 1973]: глинистые, песчаные и
песчано-глинистые, кварц-глауконитовые и глауконит-кварцевые,
кварц-глауконит-сидеритовые и кварц-глауконит-железистые.
Две последние встречаются только в верхневолжско-берриасском
горизонте. Желваки фосфоритов состоят из фосфата кальция
(40—95%).

железистых оолитов (от 5—10 до 25—30%). Второстепенное значение имеют пирит, гипс, полевые шпаты, цеолиты, акцессорные минералы. В фосфоритах отмечается присутствие многочисленных фосфатизированных остатков фауны: радиолярий, фораминифер и других, составляющих иногда до 60—70% их объема. В гранулометрическом составе вмещающих фосфориты песков преобладает глинисто-песчаная фракция.

Фосфоритовые горизонты разделяются толщей кварц-глауколитовых мелкозернистых, участками слабо известковистых песков и песчаников мощностью от 1,5 до 5 м. Они состоят из глауконита (35—65%), кварца (от 35 до 45%), кальцита (от 2—3 до 5—10%), зерен фосфорита (1,5—4,5, иногда до 10—15%). Цементом служит глинистый материал (15—25%). В незначительном количестве отмечается пирит. В песках встречаются линзы, гнезда или мало-мощные прослои сидерита. В самой верхней части разреза фосфоритовой серии (берриасский горизонт) значительную роль начинают играть железистые оолиты (от 10—15 до 40%). В гранулометрическом составе песков обычно преобладает мелкозернистая песчаная (от 48 до 53%) и алевритовая (11—56%) фракции при содержании глинистой от 7,5 до 29%.

В фосфоритовых рудах относительно вмещающих пород повышается содержание кобальта, бария, хрома, марганца, никеля, титана, стронция, редких земель и урана. По данным Э. К. Буренкова, для Центрального и Новоселковского участков устанавливается прямая корреляция фосфора со стронцием, хромом, бором, ванадием, кобальтом и никелем.

Третий тип разреза развит локально в основном в пределах Верхне- и Средневожского фосфоритоносных районов (см. рис. 14). Песчано-алевритовые образования, заключающие фосфоритовую серию, принадлежат к отложениям волжского, валанжинского, сеноманского и сантонского ярусов. Фосфоритовая серия относится в основном к волжскому, реже сантонскому ярусам. В составе ее принимают участие кварцевые и глауконит-кварцевые песчаные и песчано-мергельные породы.

В продуктивных слоях различают песчаные глауконит-кварцевые и песчано-глинистые кварц-глауконитовые петрографические разновидности фосфоритов. Содержание фосфатного вещества в них изменяется от 45 до 75%, глауконита от 7—8 до 40%, кварца от 5—7 до 60—65%, железистых оолитов от 1 до 15%. Пески, вмещающие фосфориты, становятся более грубозернистыми по сравнению с песчаными породами рассмотренных выше типов разрезов. В их составе увеличивается роль кварца относительно глауконита, а содержание кальцита местами поднимается до 25% (Власовское проявление). В фосфоритовых рудах в повышенных количествах присутствуют марганец (1,3 кларка), стронций (2,5 кларка) и уран (в 3 раза выше относительно вмещающих пород).

Четвертый тип разреза распространен ограниченно и развит лишь в пределах Средневожского фосфоритоносного района (см. рис. 14). Тектонически он приурочен к Рязано-Саратовскому про-

гибу, Жигулевско-Пугачевскому и Тонинскому. Фосфоритовая серия заключена в глинистых и известковистых глинистых и известковистых глинах келловейского, альбского и аптского ярусов, а также в глинах готерив-барремского, реже в ярусов. Фосфоритовая серия относится к ярусам, иногда готерив-барремскому, альбскому. Она всюду слагается кварц-глауконитовыми песками. Морфологически слой представляет собой мелко- и среднегалечными, реже желвачными фосфоритами (табл. 24).

В составе фосфоритовых руд основными являются кварцевые и кварц-глауконитовые, а также фосфориты. Они состоят из фосфорита (от 15 до 40%), кварца (от 15 до 40%), а также обычно в крупно-среднезернистых кварцевых и кварц-глауконитовых песках.

В фосфоритах повышенное содержание стронция (1,4 кларка), урана (в 5 раз выше относительно вмещающих пород).

Днепро-Донецкий бассейн

Бассейн включает районы Славянского, Орловской, Курской, Воронежской областей. Фосфориты известны в отложениях сеноманского, валанжинского, волжского, валанжинского, сеноманского и сантонского ярусов. Продуктивна сеноманская толща, с выделением желваковых руд. Самые крупные месторождения в бассейне — Славянское, Подбужское, Трудовское, Славянское, Шигровское. Однако лишь в Славянском (11,3 млн. т P_2O_5), а все остальные — в 200 млн. т P_2O_5 .

В палеотектоническом отношении бассейн относится к падному склону Воронежской депрессии.

Фосфоритоносные отложения являются карбонатным (песчано-мергельными) фосфоритоносная серия сеноманского яруса, перекрытая альбскими песчано-глинистыми породами фосфоритов, а перекрывается сеноманскими («сурка»). Средняя мощность фосфоритового горизонта 3,1 м, а в некоторых месторождениях до 5 м.

В продуктивной толще, как правило, выделяется пять слоев фосфоритовых руд. Мощность каждого слоя 0,8 м (суммарная 0,5—0,8, реже 1,2 м). Фосфоритовая серия является карбонатной, плитой и гравийно-галечными фосфоритами [Фоминский В. И., 1973]. В каждом слое фосфоритовый горизонт является трансгрессивным, а верхняя — регрессивной.

ростепенное зна-
нты, аксессуарные
многочисленных
фораминифер и
ема. В грануло-
ков преобладает

й кварц-глауко-
ковистых песков
т из глауконита
—3 до 5—10%),
ементом служит
количестве от
езда или мало-
разреза фосфо-
ую роль начи-
%). В грануло-
мелкозернистая
) фракции при

х пород повы-
ца, никеля, ти-
Э. К. Буренко
устанавливает-
хромом, бо-

и в пределах
районов (см.
ающие фосфо-
ого, валанжин-
ритовая серия
кому ярусам.
нит-кварцевые

кунит-кварце-
ографические
ства в них из-
кварца от 5—
ски, вмещаю-
по сравнению
разрезов. В их
лауконита, а
(Власовское
количествах
5 кларка) и
)

и развит
района (см.

гибу, Жигулевско-Пугачевскому и Токмовскому сводам. Фосфоритовая серия заключена в глинистых породах. Подошва ее сложена безызвестковистыми глинами келловейского, оксфордского, волжского, альбского и аптского ярусов; кровля — безызвестковистыми глинами готерив-барремского, реже валанжинского и альбского ярусов. Фосфоритовая серия относится в основном к валанжинскому, иногда готерив-барремскому, альбскому и сантонскому ярусам. Она всюду слагается кварц-глауконитовыми или кварцевыми песками. Морфологически слой представлен плитными и гравийно-галечными, реже желвачными фосфатными образованиями (см. табл. 24).

В составе фосфоритовых руд основную роль играют песчаные кварцевые и кварц-глауконитовые, в меньшей степени глинистые фосфориты. Они состоят из фосфата (35—95%), глауконита (2—15%, иногда до 40%), кварца (от 1—7 до 55%). Рудный материал сгружен обычно в крупно-среднезернистых и мелкозернистых кварцевых и кварц-глауконитовых песках и песчаниках.

В фосфоритах повышенное содержание имеют марганец (1,4 кларка), стронций (1,4 кларка), цирконий (1,7 кларка) и уран (в 5 раз выше относительно вмещающих пород).

Днепровско-Донецкий бассейн

Бассейн включает районы Смоленской, Калужской, Брянской, Орловской, Курской, Воронежской областей (см. рис. 14). Фосфориты известны в отложениях сеномана, сантона и киевского яруса. Продуктивна сеноманская толща, с которой связано более 70 месторождений желваковых руд. Самые крупные среди них Полпинское, Подбужское, Трухачевское, Слободско-Которецкое, Сожское, Щигровское. Однако лишь первое относится к разряду средних (11,3 млн. т P_2O_5), а все остальные мелкие (8,5—2,9 млн. т P_2O_5). Общие запасы Днепровско-Донецкого фосфоритоносного бассейна 200 млн. т P_2O_5 .

В палеотектоническом отношении бассейн приурочен к юго-западному склону Воронежской антеклизы (сеноман).

Фосфоритоносные отложения характеризуются пятым терригенно-карбонатным (песчано-мергельным) типом разреза. Фосфоритоносная серия сеноманского возраста подстилается обычно альбскими песчано-глинистыми породами, иногда с желваками фосфоритов, а перекрывается сеноманско-туронским песчаным мелом («сурка»). Средняя мощность фосфоритовой серии на Полпинском месторождении 3,1 м, а на мелких 0,6—1,2 м.

В продуктивной толще, как правило, залегает несколько (до пяти) слоев фосфоритовых руд. Мощность каждого из них 0,1—0,8 м (суммарная 0,5—0,8, реже 1,2 м). Слои представлены желваками, плитой и гравийно-галечными конгломератами.

Фосфоритовая серия характеризуется ритмичным строением [Фоминский В. И. 1973]. В каждом ритме...

желваково-плитные слои приурочены к регрессивным, а гравийно-галечные — к трансгрессивным частям ритмов. Фосфатные образования заключены в различной степени известковистых кварцевых и глауконит-кварцевых песках. Степень известковистости их возрастает вверх по разрезу. Пески на 80—85% состоят из зерен кварца. Содержание глауконита изменяется от 3—5 до 10—15%, кальцита от 2—3 до 10—15%, глинистого материала 8—12%.

Преобладает мелкозернистая фракция (65—95%) и лишь в основании ритмов значительную роль играет фракция более 0,25 мм (до 50—70%).

Содержание P_2O_5 в песках от долей процента до 2,5%, но местами достигает 6,5%, CaO от 2 до 20%, Al_2O_3 и Fe_2O_3 до 6—7%, MgO 1—2%, н.о. от 74 до 96%.

Фосфориты в основном песчаные, реже глинистые, состоят из фосфатного вещества (15—85%), кварца (от 10 до 65%), глауконита (от 2—3 до 17%), присутствуют пирит (доли процента), опал, лимонит, зерна полевых шпатов. Преобладают зерна размером 0,1—0,3 мм.

Химический состав фосфоритов (в %): P_2O_5 11,5—24; SiO_2 18—60; CaO 10—37; Al_2O_3 — не более 1; Fe_2O_3 1—1,14; MgO 0,3—0,7; иногда до 3—4; CO_2 2—4,16. Наиболее богатые руды приурочены к верхним частям фосфоритовой серии.

Актюбинский бассейн

Бассейн находится в одноименной области Северо-Западного Казахстана (см. рис. 14). Основные запасы фосфоритовых руд бассейна сконцентрированы в отложениях верхнего сантона — нижнего кампана. К ним приурочены свыше 50 месторождений желваковых фосфоритовых руд. Общие запасы Актюбинского фосфоритоносного бассейна 650 млн. т P_2O_5 , в том числе разведанные по категориям А+В+С₁ и С₂ соответственно 54,5 и 100 млн. т P_2O_5 .

Фосфоритоносные отложения характеризуются вторым терригенным типом разреза (см. рис. 14). Фосфоритовые руды залегают в алеврито-песчаной толще глауконит-кварцевого состава, которая подстилается песками верхнего альба или нижнего сеномана, а перекрывается сильно известковистыми глинами кампана.

Строение фосфоритовой серии неоднородное. Состав ее изменяется от фосфоритоносных мергельно-песчаных на западе до фосфоритоносных известковисто-песчаных в центральной части бассейна, переходящих на востоке в алевритовые и глинисто-песчаные, практически безизвестковистые отложения. Мощность этих образований в основном 1,5—3 м, местами 5—6 м (в мульде) и до 20—25 м в восточных районах области. На крайнем западе бассейна (Верхнеуильское месторождение, Шабаркудукская, Белькудукская площади и др.) фосфоритовая серия целиком представлена желваковым слоем, а местами и подстилающим его галечным слоем. Несколько восточнее в разрезе

слои фосфоритная плита (Новоуральское месторождение и др.). Общая мощность плит 0,6—2,4 м.

В центральной части бассейна гандинское, Чилисайское месторождения представлена (снизу вверх) толща известковистых фосфоритной плитой, желваковой плитой, имеющими мощность 0,8—1,2 м (Богдановское, Кокшетау, Рагандинское месторождения). Выше этой появляется безрудный песчаный слой. Далее в восточном направлении выклинивается нижняя фосфоритная плита, мощность последнего.

В восточной части бассейна выклинивается фосфоритоносная толща со слоями мощностью 0,1—0,6 м и фосфоритной плитой мощностью до 1 м, разделенных безрудными прослоями мощностью 7—9 м. Мощность продуктивной

Продуктивная толща верхних мергелей в пределах бассейна фацциально изменчива. Фосфоритоносные мергели (к северу и к югу).

Фосфоритовые руды представлены плитными типами. Базальный фосфорит имеет мощность до 1—3 см в диаметре, с остатками переотложенной фосфоритной турона, коньяка и нижнего сантона мощностью 2—5, реже до 10—15 см в диаметре и шероховатую поверхность плит служит песчано-глинистым и гидрогетитовым материковым слоем мощностью 1 м (средняя 0,8 м), желваковой плитой мощностью 0,7 м и фосфоритной плиты 0,01—0,02 м. Желваки характеризуются прерывистым, трически-зональным строением. Плиты более ранних генераций в основном песчаный и песчано-глинистый тип, глинистого типа встречаются в окладном горизонте.

Фосфориты состоят из фосфатного кварца (30—50%), глауконита (10—20%), представлены кальцитом (0,5—4%), гипсом. Химический состав (по В. Г., Ткачев В. Р., 1975) следующий: Al_2O_3 2—3; CaO 28—34; MgO 1—2; Fe_2O_3 1—1,14; CO_2 2—4,16.

вным, а гравийно-
Фосфатные обра-
ковистых кварце-
естковистости их
состоят из зерен
—5 до 10—15%,
ла 8—12%.

(%) и лишь в ос-
ня более 0,25 мм

до 2,5%, но ме-
Fe₂O₃ до 6—7%,

нистые, состоят
0 до 65%), гла-
доли процента),
от зерна разме-

11,5—24; SiO₂
1,14; MgO 0,3—
е руды приуро-

еро-Западного
оритовых руд
о сантона—
есторождений
Актюбинского
числе разве-
енно 54,5 и

орым терри-
руды залега-
состава, ко-
евого сенома-
кампана.

в ее изме-
де до фос-
асти бас-
сто-песча-
ность этих
льде) и до
паде бас-
Бельку-

слои фосфоритная плита (Новосергеевское, Покровское месторож-
дения и др.). Общая мощность фосфоритовой серии в этих райо-
нах 0,6—2,4 м.

В центральной части бассейна (левобережье р. Илек — Кара-
гандинское, Чилисайское месторождения и др.) продуктивная
толща представлена (снизу вверх): галечным слоем, нижней фос-
форитной плитой, желваковым слоем и верхней фосфоритной пли-
той, имеющими мощность 0,8—1,5 м. Восточнее, в правобережье
р. Илек (Богдановское, Коктюбинское, Кандагачское, Верхнека-
рагандинское месторождения), между галечником и нижней пли-
той появляется безрудный песчаный пласт мощностью до 2—3 м.
Далее в восточном направлении происходит постепенное замеще-
ние нижней фосфоритной плиты желваковым слоем и разубожива-
ние последнего.

В восточной части бассейна, в так называемой Джурунской зо-
не, фосфоритоносная толща содержит два, реже три желваковых
слоя мощностью 0,1—0,6 м и фосфоритового галечника мощностью
до 1 м, разделенных безрудными алевритами и песками мощно-
стью 7—9 м. Мощность продуктивной толщи 20 м.

Продуктивная толща верхнего сантона — нижнего кампана за
пределами бассейна фациально переходит в одновозрастные слабо
фосфоритоносные мергели (к западу), алевриты (к востоку) и пес-
ки (к югу).

Фосфоритовые руды представлены галечным, желваковым и
плитным типами. Базальный фосфоритовый галечник (гальки раз-
мером до 1—3 см в диаметре) содержат большое количество
остатков переотложенной фосфатизированной фауны сеномана,
турона, коньяка и нижнего сантона. Фосфоритовые желваки раз-
мером 2—5, реже до 10—15 см в диаметре имеют угловато-округ-
лую форму и шероховатую поверхность. Цементом в фосфорито-
вых плитах служит песчано- и глинисто-фосфатный, иногда гёти-
товый и гидрогётитовый материал. Мощность галечного слоя 0,1—
1 м (средняя 0,8 м), желвакового слоя 0,3—1,5 (средняя 0,6—
0,7 м) и фосфоритной плиты 0,01—0,4 (средняя 0,2 м).

Желваки характеризуются преимущественно сложным, концен-
трически-зональным строением. Они часто содержат фосфатные
гальки более ранних генераций. В целом для бассейна характерен
песчаный и песчано-глинистый петрографический тип. Фосфориты
глинистого типа встречаются в основном в составе базального га-
лечного горизонта.

Фосфориты состоят из фосфата кальция (от 35 до 65—80%),
кварца (30—50%), глауконита (3—20%). Второстепенные мине-
ралы представлены кальцитом (0—3%), пиритом (0,5—1%), опа-
лом (0,5—4%), гипсом. Химический состав фосфоритов [Сагу-
нов В. Г., Ткачев В. Р. 1975] следующий: P₂O₅ 17—20; SiO₂ 20

с вмещающими их породами выше в 2,5—5, иногда в 8—14 раз. Прямая корреляционная зависимость между содержанием урана и фосфора обычно отсутствует, однако отмечается общая тенденция увеличения радиоактивности пород, наиболее обогащенных P_2O_5 .

Содержание большинства микроэлементов в фосфоритовых рудах не превышает кларковые для осадочных пород и лишь местами отмечается трех- (кобальт) и пятикратное (ванадий, иттрий, иттербий) увеличение их концентрации.

Закономерности размещения месторождений желваковых фосфоритовых руд

Анализ фосфоритоносности рассмотренных бассейнов позволяет наметить ряд геологических закономерностей образования и размещения месторождений желваковых фосфоритовых руд.

Стратиграфические закономерности. В пределах Восточно-Европейской платформы желваковые фосфориты встречаются в широком стратиграфическом интервале — от палеозоя до кайнозоя включительно [Гиммельфарб Б. М., 1965; Шубаков Г. Н., 1974 и др.]. Наибольший практический интерес представляют верхнеюрские, меловые и палеогеновые образования, среди которых выделяются четыре горизонта промышленных руд: волжский, берриас-валанжинский, сеноманский и сантон-кампанский.

Структурно-тектонические закономерности. Большинство месторождений желваковых фосфоритовых руд Восточно-Европейской платформы приурочено к склонам синеклиз (Московской, Прикаспийской и др.) и смежных антеклиз (Воронежской и др.), развивающихся в условиях дифференцированных тектонических движений с общей тенденцией к опусканию. В пределах последних месторождения локализуются на осложняющих их конседиментационных структурах (Вятско-Камская впадина, Тумско-Шатурский выступ, Брянско-Воронежская терраса и др.). Наиболее богатые руды приурочены к положительным формам палеорельефа, смежным с отрицательными.

Крупные месторождения фосфоритовых руд размещаются в непосредственной близости от Уральской (месторождения Вятско-Камское и Актюбинского бассейна) и Воронежской (Егорьевское месторождение) антеклиз, в краевых зонах синеклиз, наложенных мульд и прогибов. Территория, заключенная между Уральской и Воронежской антеклизмами, практически лишена фосфоритов.

Палеогеографические закономерности. Месторождения желваковых фосфоритовых руд Восточно-Европейской платформы [Атлас литолого-палеогеографических карт СССР, 1972 и др.] приурочены к окраинным частям мезо-кайнозойских бассейнов. Последние представляли собой внутриконтинентальные моря-проливы (волжский, берриас-валанжинский) или обширные открытые водоемы (сеноманский, сантон-кампанский). Глубина морских бассейнов, где происходило фосфатонакопление,

150 м. Эта зона располагалась глубоководной частью «шельфа» рега. Ширина зоны фосфатонакопления

Фосфатонакопление связано с бассейнов (мелкозернистые сляжущие пески, песчаники и переменным гидродинамическими концентрациями фосфора связано перераспределением и фосфоритсодержащих пород в динамическом режиме. Это тип гранулометрическим составом относительно вмещающих

Эпейрогенические колебания регрессивные и регрессивные фазы привело к возникновению относительных участков дна и к неоднократным желвакам и галек. Интенсивность накопления в значительной мере зависит от водного рельефа.

Наиболее устойчивая фосфоритовая гидродинамическая среда создается со следами воздействия

Накопление продуктивных фосфоритовых руд связано с крупными трансгрессиями (валанжинской, сантон-кампанской) и, вли в конце крупных регрессивных фаз, в частности с образованием синеклиз морского бассейна [Бушинский, 1973; Степанова Т. И., 1974; Ткачев В. Р., 1975]. Прямая зависимость размещения фосфоритовых руд от рельефа континента территории накопления была отмечена

Регрессивные фазы характеризуются рудные фосфоритовые месторождения в синеклиз континентальных морей, в частности в фосфоритообразованиях с преобладанием ригитного материала, приуроченных к мелководным участкам песков, песчаников в условиях резко изменяющегося гидродинамического режима.

Локальными критериями являются мощность основных промышленных слоев верхним частям разреза фосфоритовых слоев, а менее продуктивных конгломератных накоплениях; желваково-плитных горизонтов

да в 8—14 раз.
ержанием урана
я общая тенден-
ее обогащенных

осфоритовых руд
и лишь места-
ванадий, иттрий,

ий

сейнов позволя-
образования и
товых руд.

ах Восточно-Ев-
тречаются в ши-
роча до кайнозоя
аков Г. Н., 1974
ставляют верхне-
еди которых вы-
волжский, берри-
ский.

ольшинство ме-
остоchno-Европей-
лиз (Московской,
онежской и др.),
их тектонических
делах последних
их конседимента-
, Тумско-Шатур-
). Наиболее бо-
ам палеорельефа,

змещаются в не-
ождения Вятско-
той (Егорьевское
лиз, наложенных
ду Уральской и
осфоритов.

ждения желва-
латформы [Ат-
1972 и др.] при-
бассейнов. По-
ые моря-проли-
рные открытые
бина морских
оставляла 20—

150 м. Эта зона располагалась между прибрежной и относительно глубоководной частью «шельфа» на расстоянии 30—60 км от берега. Ширина зоны фосфатонакопления достигала 150—200 км.

Фосфатонакопление связано с мелководно-морскими зонами бассейнов (мелкозернистые слабо известковистые глауконитсодержащие пески, песчаники и алевролиты), характеризовавшимися переменным гидродинамическим режимом. Возникновение промышленных концентраций фосфоритовых руд в значительной мере вызвано перераспределением и даже переотложением материала фосфоритсодержащих пород в периоды с более активным гидродинамическим режимом. Это подтверждается обычно более тонким гранулометрическим составом нерастворимой части фосфоритов относительно вмещающих их пород.

Эпейрогенические колебательные движения обусловили трансгрессивные и регрессивные фазы развития бассейнов, что привело к возникновению относительно приподнятых и опущенных участков дна и к неоднократному сгужению в слои фосфоритовых желваков и галек. Интенсивность и характер фосфатонакопления в значительной мере определялись особенностями подводного рельефа.

Наиболее устойчивая фосфатизация связана с мелководной активной гидродинамической средой в зоне конседиментационных поднятий со следами воздействия течений и волнений.

Накопление продуктивных горизонтов происходило в периоды крупных трансгрессий (волжской, берриас-валанжинской, сенманской, сантон-кампанской), осложненных частными регрессиями, или в конце крупных регрессий моря. Наиболее интенсивное фосфоритообразование связано с этапами частичного обмеления морского бассейна [Бушинский Г. И., 1954; Шубаков Г. Н. и др., 1973; Степанова Т. И., 1973; Фоминский В. И., 1973; Сагунов В. Г., Ткачев В. Р., 1975]. Прилегающая суша в периоды фосфатонакопления имела равнинный, сильно сглаженный рельеф. Привнос с континента терригенного материала в период усиленного фосфатонакопления был незначительным.

Региональными палеогеографическими критериями, контролирующими рудное фосфатонакопление, являются: приуроченность фосфоритообразования к средней части «шельфа» мелководных эпиконтинентальных морей, обильно заселенных фауной; связь фосфоритообразования с периодами минимального поступления терригенного материала; приуроченность к мелководно-морским фациям песков, песчаников и алевроитов, сформированных в условиях резко изменяющегося гидрорежима.

Локальными критериями этого рода являются: 1) приуроченность основных промышленных горизонтов фосфоритовых руд к верхним частям разреза фосфоритовой серии (желваково-плитные слои), а менее продуктивных — к нижним (гравийно-галечные конгломератные накопления); 2) приуроченность желваковых и желваково-плитных горизонтов к регрессивным, а гравийно-галечных — к трансгрессивным частям ритмов; 3) приуроченность руд

гда в 8—14 раз.
ержанием урана
я общая тенден-
ее обогащенных

осфоритовых ру-
д и лишь места-
ванадий, иттрий,

сейнов позволя-
образования и
товых руд.

х Восточно-Ев-
речаются в ши-
оя до кайнозоя
ков Г. Н., 1974
авляют верхне-
еди которых вы-
олжский, берри-
кий.

ольшинство ме-
сточно-Европей-
из (Московской,
ежской и др.),
тектонических
елах последних
конседимента-
Тумско-Шатур-
Наиболее бо-
палеорельефа,

ещаются в не-
дения Вятско-
(Егорьевское
в, наложенных
Уральской и
форитов.

ения желва-
тформы [Ат-
и др.] при-
сейнов. По-
моря-проли-
ые открытые
на морских

150 м. Эта зона располагалась между прибрежной и относительно глубоководной частью «шельфа» на расстоянии 30—60 км от берега. Ширина зоны фосфатонакопления достигала 150—200 км.

Фосфатонакопление связано с мелководно-морскими зонами бассейнов (мелкозернистые слабо известковистые глауконитсодержащие пески, песчаники и алевролиты), характеризовавшимися переменным гидродинамическим режимом. Возникновение промышленных концентраций фосфоритовых руд в значительной мере вызвано перераспределением и даже переотложением материала фосфоритсодержащих пород в периоды с более активным гидродинамическим режимом. Это подтверждается обычно более тонким гранулометрическим составом нерастворимой части фосфоритов относительно вмещающих их пород.

Эпейрогенические колебательные движения обусловили трансгрессивные и регрессивные фазы развития бассейнов, что привело к возникновению относительно приподнятых и опущенных участков дна и к неоднократному сгужению в слои фосфоритовых желваков и галек. Интенсивность и характер фосфатонакопления в значительной мере определялись особенностями подводного рельефа.

Наиболее устойчивая фосфатизация связана с мелководной активной гидродинамической средой в зоне конседиментационных поднятий со следами воздействия течений и волнений.

Накопление продуктивных горизонтов происходило в периоды крупных трансгрессий (волжской, берриас-валанжинской, сеноманской, сантон-кампанской), осложненных частными регрессиями, или в конце крупных регрессий моря. Наиболее интенсивное фосфоритообразование связано с этапами частичного обмеления морского бассейна [Бушинский Г. И., 1954; Шубаков Г. Н. и др., 1973; Степанова Т. И., 1973; Фоминский В. И., 1973; Сагунов В. Г., Ткачев В. Р., 1975]. Прилегающая суша в периоды фосфатонакопления имела равнинный, сильно сглаженный рельеф. Привнос с континента терригенного материала в период усиленного фосфатонакопления был незначительным.

Региональными палеогеографическими критериями, контролирующими рудное фосфатонакопление, являются: приуроченность фосфоритообразования к средней части «шельфа» мелководных эпиконтинентальных морей, обильно заселенных фауной; связь фосфоритообразования с периодами минимального поступления терригенного материала; приуроченность к мелководно-морским фациям песков, песчаников и алевролитов, сформированных в условиях резко изменяющегося гидрорежима.

Локальными критериями этого рода являются: 1) приуроченность основных промышленных горизонтов фосфоритовых руд к верхним частям разреза фосфоритовой серии (желваково-плитные слои), а менее продуктивных — к нижним (гравийно-галечные конгломератные накопления); 2) приуроченность желваковых и желваково-плитных горизонтов к регрессивным, а гравийно-

к участкам резко сокращенной мощности отложений, которым свойственны перемены осадков в зонах активного действия волн и донных течений; 4) приуроченность фосфоритовых руд к участкам моря с расчлененным рельефом дна (конседиментационные поднятия и впадины).

Палеоклиматические закономерности. Климатические условия в рассматриваемый отрезок геологической истории в разных частях Восточно-Европейской платформы не были одинаковыми [Синицын В. М., 1966; и др.]. В поздней юре на большей части территории наблюдались гумидные условия. Граница климатических зон проходила по линии Харьков — Астрахань — южное окончание Мугоджар. В раннемеловую эпоху вся территория располагалась в зоне умеренного влажного климата, постепенно сменявшегося к югу и юго-востоку более жарким и засушливым (широкое распространение красноцветов в юго-восточной части Прикаспийской синеклизы). В начале поздне меловой эпохи по сантонское время включительно эта территория находилась во влажной зоне, а начиная с турона — в основном в аридной. Температурные условия в мезозое постепенно изменялись с севера на юг. Крупные месторождения фосфоритовых руд расположены в зонах типично гумидного палеоклимата (Вятско-Камское, Егорьевское) и переходного к аридному (Актюбинская группа месторождений).

Литологические закономерности. Фосфоритовые серии характеризуются довольно четкой приуроченностью к определенным комплексам пород — терригенным (Волжский и Актюбинский бассейны) и терригенно-карбонатным (Днепровско-Донецкий бассейн). Литологические ассоциации в каждом конкретном бассейне имеют свои специфические особенности.

В Верхнекамском и Средневожском районах Волжского бассейна наиболее благоприятно положение фосфоритовой серии (снизу вверх): между глинисто-сланцевыми и глинистыми породами, а в Верхневожском районе — между глинистыми слабо известковистыми и песчаными. Для всего бассейна в целом отрицательным фактором является нахождение фосфоритовой серии среди однородных по литологическому составу комплексов (песчаных или глинистых).

В Актюбинском бассейне фосфоритовая серия находится в ассоциации с песчано-глинистыми (в подошве) и сильно известковыми глинистыми (в кровле) породами. В Днепровско-Донецком бассейне перекрывающие породы представлены песчаным мелом («суркой»), который переходит в писчий мел. Вместе с изменением типа разреза от терригенного к терригенно-карбонатному изменяется качество руд в сторону его ухудшения (табл. 25).

Фосфоритовая серия складывается обычно песчано-алевритовыми и очень редко карбонатными (мел-мергельными) и глинистыми породами. Максимальные концентрации фосфоритов приурочены, как правило, к мелкозернистым алевритовым слабо известковистым пескам, реже алевритам. Лишь базальные галечные горизонты локализируются в мелко- и крупнозернистых песках.

Содержание P_2O_5 в фосфоритах и первичном концентрате после

Тип руды				
Терригенный				
I		II		
Вятско-Камское месторождение		Егорьевское месторождение		Актюбинская группа месторождений
Исходная руда	Концентрат (+4 мм)	Исходная руда	Концентрат (+4 мм)	Исходная руда
12,5	22,4	11—14	21,5	18

В зависимости от положения фосфоритовых слоев и горизонтов. В Актюбинском бассейне в открытой части моря (к западу), замещение ее бесфосфатными или слабо мергельными породами, а в западной части (к востоку) — средне-крупнозернистыми песчаными породами. При этом желваки и конкреции фосфоритовых руд замещены мощными гравийно-галечными породами.

Минералогические закономерности. Основные минералы фосфоритовых руд — фосфорит кальция, глауконит, кварц, кальцит, а также железо в форме железистых оксидов, сульфидов (пирит, сидерит, опал и др.) и др.

Фосфат кальция по составу соответствует формуле $Ca_3(PO_4)_2$, в котором часть фосфора замещена серой. Средний состав: $Ca_2,8S_0,2(PO_4)_2$ (Синицын Г. И., 1954; Смирнов А. И., 1955). В большинстве случаев он имеет скрытокристаллическое радиально-лучистое строение. Средний диаметр кристаллов $d_0 = 6,89 \text{ \AA}$; величина отношений $CO_2/P_2O_5 = 0,11$. Содержание фосфата кальция в фосфоритах изменяется от 15—20 до 95—100%. Содержание фосфора в фосфоритах Средневожского района (от 40 до 93%, в среднем — для фосфоритов Днепровско-Донецкого бассейна — 15 до 85%, в среднем 50%).

* Средние значения даны по А. И. Смирнову.

Содержание P_2O_5 в фосфоритовых рудах и первичном концентрате после грохочения (в %)

Тип разреза							
Терригенный						Терригенно-карбонатный	
I		II				V	
Вятско-Камское месторождение		Егорьевское месторождение		Месторождения Актыбинского бассейна		Месторождения Днепровско-Донецкого бассейна	
Исходная руда	Концентрат (+4 мм)	Исходная руда	Концентрат (+4 мм)	Исходная руда	Концентрат (+4 мм)	Исходная руда	Концентрат (+4 мм)
12,5	22,4	11—14	21,5	10	17—19,5	6—10	16

В зависимости от положения фосфоритовой серии в фациальном профиле изменяются мощность, качество и число фосфоритовых слоев и горизонтов. В Актыбинском бассейне в сторону открытой части моря (к западу), например, происходит постепенное замещение ее бесфосфатными или слабо фосфоритовыми мелмергельными породами, а в направлении береговой линии (к востоку) — средне-крупнозернистыми безызвестковистыми кварцевыми песками. При этом желваково-плитные слои переходят в маломощные гравийно-галечные, которые постепенно разубоживаются.

Минералогические закономерности. Главные породобразующие минералы фосфоритовых руд рассматриваемого типа: фосфат кальция, глауконит, кварц, кальцит, в ряде случаев гидроокислы железа в форме железистых оолитов. Содержание прочих минералов (пирит, сидерит, опал и др.) не превышает обычно в сумме 10%.

Фосфат кальция по составу соответствует фторкарбонатапатиту, в котором часть фосфора замещена на углерод [Бушинский Г. И., 1954; Смирнов А. И., 1974 и др.]. В большинстве случаев он имеет скрытокристаллическое, реже микрозернистое и радиально-лучистое строение. Средний показатель преломления 1,596—1,610, параметры элементарной ячейки: $a_0 = 9,29—9,31 \text{ \AA}$, $c_0 = 6,89 \text{ \AA}$; величина отношений CO_2/P_2O_5 0,1—0,22; F/P_2O_5 0,06—0,11. Содержание фосфата кальция в фосфоритах и фосфоритовых рудах изменяется от 15—20 до 95—99%. Наиболее высокое его содержание характерно для фосфоритов Верхнекамского и Верхневожского районов (от 40 до 93%, в среднем 65—70%) *, наименьшее — для фосфоритов Днепровско-Донецкого бассейна (от 15 до 85%, в среднем 50%).

Совместное нахождение сидерита, пирита, гидроокислов железа с фосфатом, глауконитом и кальцитом свидетельствует о неустойчивой окислительно-восстановительной обстановке в зоне фосфатонакопления.

Согласно приведенным данным, в желваковых фосфоритовых рудах существуют устойчивые ассоциации фосфата кальция с определенными минералами, которые могут быть использованы при прогнозе и поисках. Региональное значение имеет ассоциация: глауконит — кварц — кальцит — монтмориллонит — гидро-слюда, которая постоянно выдерживается во всех рассмотренных бассейнах. В каждом конкретном бассейне в районе можно выделить специфические, характерные для данного региона минеральные ассоциации. Так, например, для Верхнекамского и Верхневолжского районов Волжского бассейна распространена ассоциация фосфата кальция с сидеритом и пиритом, а в Верхневолжском районе — еще и с гидроокислами железа.

Геохимические закономерности. Анализом геохимических связей фосфора с основными химическими компонентами фосфоритов с помощью многомерной корреляции устанавливаются положительные связи фосфора с F, CaO, CO₂, что определяется принадлежностью фосфатного вещества к фторкарбонатапатиту. Коэффициенты корреляции основных химических компонентов в желваковых фосфоритах и фосфоритовых рудах Восточно-Европейской платформы следующие:

F—P ₂ O ₅	+0,78	F ₂ O ₃ —P ₂ O ₅	—0,38
CaO—P ₂ O ₅	+0,88	SiO ₂ —P ₂ O ₅	—0,51
CO ₂ —P ₂ O ₅	+0,63	C _{орг} —P ₂ O ₅	+0,52
MgO—P ₂ O ₅	+0,30	H. о.—P ₂ O ₅	—0,94
Na ₂ O—P ₂ O ₅	+0,60	F—Na ₂ O	+0,58
SO ₃ —P ₂ O ₅	+0,42	F—C _{орг}	+0,35
MnO—P ₂ O ₅	+0,34	F—MnO	+0,54
K ₂ O—P ₂ O ₅	—0,78	F—MgO	—0,08
Al ₂ O ₃ —P ₂ O ₅	—0,46	CaO—C _{орг}	+0,44

Положительные связи P₂O₅, F, CO₂ и CaO с C_{орг.}, MnO, Na₂O и MgO позволяют судить о вхождении некоторого количества органических радикалов, а также Mn²⁺, Na⁺, Mg²⁺ в решетку фосфата кальция.

Отрицательные связи P₂O₅ постоянно наблюдаются с Fe₂O₃, K₂O, FeO, SiO₂ — элементами глинистой, глауконитовой и кварцевой составляющих.

В желваковых фосфоритах Восточно-Европейской платформы установлено присутствие широкой гаммы элементов-примесей (бария, ванадия, титана, молибдена, циркония, стронция, свинца, бора и др.), большая часть которых характеризуется кларковыми или близкими к ним содержаниями [Ясырев А. П., 1964; Блисковский В. З. и др., 1969; Добросердов А. Л., Харитонова Р. Ш., 1969; Полянин В. А., 1969; Полянин В. А. и др., 1973; Кабанова Е. С., Плотникова Л. Я., 1973; Козлов А. А., 1975; Сягунов В. Г., Ткачев В. Р., 1975; ...]

данным В. И. Фомин-
ний над фоном.

ожет быть вызвано, с од-
кристаллическую решетку
[Кабанова Е. С., Плотни-
накоплением в минералах-
ий, редкие земли, кобальт
хром, молибден, титан, ва-
ьную концентрацию бария
ого, можно объяснить тем,
существовали в форме суль-
изованы в другие минералы,
в состав механических при-
ют подчиненное значение

ностям распределения в фос-
е элементы можно объеди-
попадают элементы (уран,
обальт), прямо индексирую-
в фосфоритовых рудах повсе-
мещающих пород concentra-

менты (барий, титан, бор, цир-
нтрации которых характерны
ых бассейнов, т. е. элементы,
глауконитом и глинистыми
еделения элементов второй
химические признаки при по-
ельных регионах.

элементы (медь, молибден,
ющие в фосфоритах только
ению с вмещающими породами
ены.

ОСНОВНЫХ ФОСФОРИТОВЫХ РУД ИХ РАЗМЕЩЕНИЯ

фосфоритоносной формацией свя-
е руды. В мировом балансе фос-
около 1%, а в пределах Со-
веданных запасов фосфоритового

руды известны на северо-западе
ы в Прибалтийско-Ладожском
огичные руды обнаружены только
аянском и Среднеазиатском фос-
бежных странах они известны в

Характеристика Прибалтийско-Ладожского ордовикского фос-
форитоносного бассейна дается по материалам и результатам гео-
логоразведочных работ Управления геологии СМ ЭССР, Северо-
Западного ТГУ, ИГ АН ЭССР, ЛОПИ, ГИГХС и др., изложенным
в работах В. С. Ванчугова, Л. И. Горбуновой, В. Г. Загураева,
Э. К. Кивимяги, Л. Н. Кулямина, А. Р. Лоога, Э. А. Мустыйги,
А. И. Наливкиной, Р. И. Синисалу, А. М. Тушиной, К. К. Хазано-
вича, Х. Н. Хейнсалу, А. М. Шатровской и других авторов.

Месторождения фосфоритовых руд Прибалтийско-Ладожского
бассейна расположены вдоль южного побережья Финского залива,
от г. Таллина на западе до р. Сяси на востоке. В настоящее время
здесь известно 16 месторождений, из которых наиболее крупными
являются Тоолсе, Азери (включая Сака) и Дудергофское.

Все месторождения Эстонии, а также Кингисеппское и Красно-
сельское месторождения Ленинградской области детально разве-
даны; остальные изучены на стадии поисковых работ. Разраба-
тываются два месторождения: Маарду и Кингисеппское. Общие
запасы фосфоритовых руд бассейна составляют более 144 млн. т
P₂O₅.

Фосфоритоносные отложения Прибалтийско-Ладожского бас-
сейна выделены Л. И. Горбуновой в органогенно-терригенную
формацию по признаку наличия в породах органогенного фосфата,
сингенетичного терригенному осадку. Характерной составной
частью этих преимущественно песчаных отложений является зна-
чительное количество (до 30% и более) первично-фосфатных ство-
рок, главным образом беззамковых брахиопод (оболид).

Разрез отложений бассейна сложен породами верхнего протер-
озоя, кембрия, ордовика, силура, девона и плейстоцена, залегаю-
щими на архейском и ниже-среднепротерозойском кристалличе-
ском ложе. Суммарная мощность осадочного чехла изменяется от
100 м на севере до 500—700 м на юге Эстонии.

Фосфоритоносная оболочевая толща [Алихова Т. Н., 1960; Сели-
ванова В. А., 1971; и др.] соответствует нижней части пакерорт-
ского горизонта тремадокского яруса нижнего ордовика. В преде-
лах бассейна она обнажается лишь в уступе глинта. Пакерортские
отложения залегают на размытой поверхности нижнекембрийских,
частично среднекембрийских песчаников и алевролитов. Почти пов-
семестно они перекрываются сланцевидными аргиллитами (дик-
тионемовыми сланцами) тюрисалукской пачки (подгоризонта)
пакерортского горизонта, глауконитовыми песчаниками и карбо-
натными породами ордовика и силура, отложениями девона и
плейстоцена.

На территории Эстонской ССР оболочевая толща подразделяется
на три пачки (снизу вверх): юльгазескую, маардускую и суурйе-
скую. В Ленинградской области с двумя последними пачками
сопоставляются соответственно ладожский и тосненский подгори-
зонты. Граница между этими пачками (или подгоризонтами) ме-
стами нечеткая, местами — резкая со следами размыва.

Юльгазская пачка имеет локальное развитие, слагая нижнюю часть разреза в районе месторождений Иру, Маарду и Тситре-Валкла. Она сложена желтовато-серыми кварцевыми, песчаными или песчаными слабосцементированными алевролитами, с расчлененным мелким детритом, а иногда и целыми створками брахиопод. Слоистость горизонтальная и наклонная, характерны прослойки коричневой алевритовой глины. Полная ее мощность в стратотипе у бывшего рудника Юльгазе (Эстония) составляет 6,5 м.

Маардуская пачка на территории Эстонии развита почти повсеместно. В ней четко выделяются две части: нижняя — косослоистый брахиоподовый ракушняк («оболовый конгломерат» мощностью от первых сантиметров до 1—1,5 м) и верхняя — обычно преобладающая по мощности толща преимущественно горизонтального переслаивания слабосцементированных кварцевых мелкозернистых песчаников и алевролитов с темно-коричневыми керогенсодержащими аргиллитами (диктионемовыми сланцами мощностью от долей миллиметра до 5—10 см). Содержание створок в брахиоподовом ракушняке 20—80%. В месторождениях Иру, Маарду, Тситре-Валкла и Сака присутствуют 2—3 прослоя ракушняка, разделенных песчаником с рассеянным детритом. Общая мощность маардуской пачки изменяется от 0,5 до 10—15 м, чаще всего 3—5 м. Наибольшие концентрации P_2O_5 в брахиоподовом ракушняке (фосфоритовая руда) приурочены к участкам относительно небольшой мощности маардуской пачки (Тоолсе — 0,5 м, Маарду — 2,2 м).

Суурыйеская пачка развита на более ограниченной площади на северо-западе Эстонии до Тоолсе включительно, а также в районе г. Нарвы; далее на восток она прослеживается под названием тосненского подгоризонта. Суурыйеская пачка представлена кварцевыми мелко-среднезернистыми косослоистыми песками и слабосцементированными песчаниками со значительным количеством (до 20—30%) детрита брахиопод. Детрит относительно хорошо отсортирован по крупности, расположен по косой слоистости, создавая впечатление грубокосослоистого разнозернистого песчаника, четко отличающегося от нижележащих более мелкозернистых пород маардуской пачки. При удалении от глинта к югу количество брахиоподового детрита в породах суурыйеской пачки быстро убывает. Мощность суурыйеской пачки 1—1,5 м, изредка 4—5 м (например, в стратотипе, на р. Суурыйги у п. Вихула 5,25 м).

Для восточной части Прибалтийско-Ладожского фосфоритоносного бассейна (Ленинградская область) характерно сокращение мощности пакерортского горизонта (до 2—3 м, максимальная — 8 м) за счет отсутствия нижней (юльгазской) пачки, частичного размыва верхней, а возможно, и в результате менее интенсивного накопления осадков в этой части раннеордовикского бассейна. В этом районе сокращается также и площадь их распространения. Ладожский подгоризонт (аналог маардуской пачки Эстонии) развит на востоке бассейна почти повсеместно. Мощность его обычно 1—2 м, но в районе г. Гатчины и в бассейне р. Волхова

увеличивается до 3,5 м. Граница выделена по следам размыва. В западной части хорошо отсортированные мелкозернистые песчаники сменяются песчаными алевритами, сложенными мощными прослоями алевритовой глины. Обычно мелкий. Содержание его в тосненском подгоризонте (аналог суурыйеской пачки) обычно от 0,1 до 20 м. Явно преобладанию в составе косослоистых пород обильным детритом брахиопод. Обширный горизонт характеризуется косослоистостью, обилием створок брахиопод. Здесь нередки линзы и прослоя мощностью до 0,1 м. Наиболее распространены в междуречье Луги и Нарвы бассейне р. Тосна.

Преобладающей разновидностью являются мелко- и среднезернистые песчаники, к югу от глинта, наблюдается увеличение количества крупных зерен в песках по всему разрезу. Гранулометрический состав зерен тосненского подгоризонта Ленинградской области представлен песками по сравнению с однотипными породами территории Эстонии. Верхняя часть тосненского подгоризонта на территории Ленинградской области сходна между собой. В средней части сложена более крупнозернистыми породами.

Минеральный состав пакерортского горизонта на всей площади бассейна родообразующими являются кварцевые породы, содержащие фосфоритовый фосфат (до 30—35%). Для Ленинградской области — это обычно до 3—5% составляют акцессорные минералы (гидрослюда мусковитового типа, биотит, хемогенный фосфорит). Основные акцессорные минералы — циркон, турмалин, рутил.

В продуктивной толще Прибалтийско-Ладожского фосфоритоносного бассейна основными являются фосфоритовая руда и тесно связанные с ней P_2O_5 , MgO и Fe_2O_3 . На основании разрезав установлено, что наиболее высокое содержание фосфора (5—10%, иногда 15—25%) в песчаниках в основании маардуской пачки — тосненском подгоризонте фосфоритоносной толщи изредка достигает иногда 5

слагая нижнюю
ду и Тситре-
ми, песчаными
олитами, с рас-
орками брахио-
терны прослойки
сть в стратотипе
6,5 м.

звита почти по-
жняя — коссло-
ломерат» мощ-
ерхняя — обычно
твенно горизон-
варцевых мелко-
ичневыми керо-
сланцами мощ-
жание створок в
дениях Иру, Ма-
прослоя ракуш-
стритом. Общая
о 10—15 м, чаще
брахиоподовом
часткам относи-
(Тоолсе — 0,5 м,

енной площади
ю, а также в
ается под назва-
ка представлена
ыми песками и
ельным количе-
относительно хо-
косой слоистости,
ристого песча-
е мелкозернистых
а к югу количе-
сой пачки быстро
изредка 4—5 м
ла 5,25 м).

о фосфоритосос-
рно сокращение
максимальная —
чки, частичного
ее интенсивного
ского бассейна.
распространения
пачки Эстонии)
Мощность его
ине р. Волхова

увеличивается до 3,5 м. Граница подгоризонта обычно четко фик-
сируется по следам размыва. В направлении на юг и северо-восток
хорошо отсортированные мелкозернистые пески фашиально заме-
щаются песчанистыми алевритами, среди которых нередко мало-
мощные прослои алевритовых глин. Детрит створок брахиопод
обычно мелкий. Содержание его в породах не превышает 10—12%.
Тосненский подгоризонт (аналог суурийской пачки Эстонии) име-
ет невыдержанное площадное распространение и весьма изменчи-
вую мощность от 0,1 до 20 м. Ясно выделяется в разрезе, благодаря
преобладанию в составе косслоистых среднезернистых песков с
обильным детритом брахиопод. Обычно верхняя часть разреза под-
горизонта характеризуется наличием косой разнонаправленной
слоистости, обилием створок брахиопод хорошей сохранности.
Здесь нередко линзы и прослои «брахиоподового конгломерата»
мощностью до 0,1 м. Наиболее полный разрез подгоризонта про-
слежен в междуречье Луги и Нарвы, в районе г. Красное Село, в
бассейне р. Тосна.

Преобладающей разновидностью пород оболовой толщи явля-
ются мелко- и среднезернистые пески. В западной половине Эсто-
нии, к югу от глинта, наблюдается уменьшение размера обломоч-
ных зерен в песках по всему разрезу фосфоритоносных отложений.
Гранулометрический состав зерен ладожского подгоризонта Ле-
нинградской области представлен более крупнозернистыми пес-
ками по сравнению с однотипными породами маардуской пачки
территории Эстонии. Верхняя часть разреза (суурийская пачка и
тосненский подгоризонт) на территории Эстонии и восточной по-
ловины Ленинградской области по гранулометрическому составу
сходны между собой. В средней части бассейна эта часть разреза
сложена более крупнозернистыми песками.

Минеральный состав пакерортской оболовой толщи практиче-
ски однороден на всей площади рассматриваемого бассейна. По-
родообразующими являются кварц (65—90%) и органический ра-
ковинный фосфат (до 30—35%). Для Эстонии характерен пирит,
для Ленинградской области — доломит. Небольшую примесь
(обычно до 3—5%) составляют полевые шпаты, глинистый мате-
риал (гидрослюды мусковитового ряда), отдельные чешуйки му-
сковита и биотита, хемогенный фосфат, единичные зерна глауко-
нита. Основные акцессорные минералы: ильменит, лейкоксен,
циркон, турмалин, рутил.

В продуктивной толще Прибалтийско-Ладожского фосфорито-
носного бассейна основными компонентами, определяющими каче-
ство фосфоритовой руды и технологию ее переработки, являются
Р₂O₅, MgO и Fe₂O₃. На основании изучения большого количества
разрезов установлено, что наиболее высокие содержания Р₂O₅
(5—10%, иногда 15—25%) приурочены к мелко- и среднезерни-
стым песчаникам в основании маардуской пачки или в суурийе-
стой пачке — тосненском подгоризонте. Содержание MgO в раз-
резе фосфоритоносной толщи изменяется в пределах десятых до-
лей процента, достигая иногда 5—7% в доломитизированных пес-

чаниках, образование которых связано с повышенной трещиноватостью вышележающих карбонатных пород и интенсивной инфильтрацией поверхностных и грунтовых вод. Fe_2O_3 в фосфоритоносной толще распределено неравномерно, но в большинстве случаев не превышает 1,5—2%; максимальные содержания 3,5—5,5% (Эстония).

Для оболовых песков и «конгломератов» повсеместно установлены повышенные содержания урана (суммарная активность обычно 20—30, а иногда 40—45 мкР/ч), которые связаны с фосфатными створками брахиопод, а также стронция, редких земель, лантана, иттрия, иттербия и молибдена, и локально — бария, титана, марганца, вольфрама, меди (Ленинградская область) и свинца (Эстония). Очевидно, первые из них можно рекомендовать в качестве элементов-индикаторов при региональных прогнозных работах, а вторые — в качестве геохимического признака в отдельных районах.

В отношении палеоклиматической обстановки формирования фосфоритоносного бассейна в литературе имеются очень скудные данные. В течение каледонского цикла Восточно-Европейская платформа, по мнению некоторых исследователей, располагалась большей частью в аридной зоне.

Прибалтийско-Ладожский бассейн приурочен к южному склону Балтийского щита и северо-западной части Московской синеклизы. Основной структурной формой осадочного чехла является южное (Эстония) и юго-восточное (Ленинградская область) моноклиналиное залегание с пологим падением слоев под углами 7—15° (2—4,4 м/км). На общем фоне моноклиналиного залегания пород установлены изометричные купола (от 1×2 до 15×35 км), пологие вытянутые антиклинальные поднятия (размерами до 15×70 км) и флексуры (с амплитудой до 30 км). Такие структуры известны юго-западнее месторождения Азери, к востоку от Котловского и Ульяновского месторождений, южнее Глядинского, Красносельского и Дурергофского месторождений. Они проявляются изменением мощности разреза продуктивной толщи (Ленинградская область). Кроме того, во многих местах отмечаются очень пологие складки более мелких размеров.

Широко распространены разрывные формы нарушений, выраженные крупными разломами фундамента (Гатчинская, Мгинская, Волховская и другие тектонические зоны), нарушениями осадочных пород типа флексур-сбросов (в районе Котловского, Федоровского месторождений и др.) или ступенчатых сбросов (Азери, Ахтмеская и другие зоны нарушений). В приглинтовой полосе встречаются небольшие нарушения залегания слоев (складки, сбросы, надвиги), вызванные гляциальной деятельностью в четвертичный период.

В Прибалтийско-Ладожском бассейне в течение пакерортского времени, начало которого связано с трансгрессией на границе кембрия — ордовика, шло накопление терригенных, преимущественно

мелководного моря. Среди в общей выделяются прибрежно-морские гидродинамики среды осадконакопления размера зерен обломочного материала с различной слоистостью, высоким содержанием брахиопод.

Прибрежно-морской косослоистости нижней части маардуской пачки и небольшого прослоя распространены, но промышленной мощности частях приглинтовой полосы Эстонии, Тситре-Валкла, Тоолсе, Азери-разрезы фосфоритовой сери прослоями мелководными породами, в то время, вероятно, о неустойчивости геологической обстановки береговой линии.

Все месторождения Ленинградского бассейна и большая часть Тоолскими, возможно придельтовыми чаниками верхней части фосфоритоско-Ладожского бассейна — тоснеской пачки.

Таким образом, образование фосфоритоско-Ладожском бассейне связано в основном; промышленные руды на западе направлены, а на востоке — к верхней части фосфоритоско-Ладожского бассейна.

К югу от приглинтовой полосы постепенно сменяются мелководно-морскими удалении от береговой линии. Для преобладание горизонтальной слоистости и алевроитового материала. Фосфатных преимущественно в виде мелководных не более 10% (2—3% Fe_2O_5). Очевидно, нарушение промышленных скопления.

В южном направлении фосфоритоско-Ладожского горизонта прослеживаются на территории почти всю Прибалтику. Они заделанных скважин на глубинах 200 м.

**МЕТОДИКА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ
МЕСТОРОЖДЕНИЯ ФОСФОРИТОВ
СВЯЗАННЫХ С ТЕРРИГЕННЫМИ
ТЕРРИГЕННЫХ ФОСФОРИТОВ**

Методика прогнозирования

Прогнозные исследования на фосфоритоско-Ладожском бассейне

енной трещинова-
интенсивной ин-
 P_2O_5 в фосфорито-
большинстве слу-
одержания 3,5—

семестно установ-
арная активность
связаны с фосфат-
редких земель,
ьно — бария, тита-
область) и свинца
комендовать в ка-
х прогнозных ра-
признака в отдел-

вки формирования
ются очень скудные
сточно-Европейская
пей, располагалась

ен к южному склону
сковской синеклизы.
ла является южное
я область) моно-
в под углами 7—15°
ного залегания пород
15×35 км), пологие
рами до 15×70 км) и
структуры известны юго-
тловского и Ульянов-
асносельского и Ду-
изменением мощ-
дская область). Кро-
логие складки более

ы нарушений, выра-
тчинская, Мгинская,
арушениями осадоч-
тловского, Федоров-
бросов (Азерийская,
иглинтавой полосе
и слоев (складки,
ятельностью в чет-

ение пакерортского
сней на границе
нных, преимущест-

мелководного моря. Среди в общем мелководно-морских отложе-
ний выделяются прибрежно-морские с признаками более активной
гидродинамики среды осадконакопления: относительным увеличе-
нием размера зерен обломочного кварца, четко выраженной косой
слоистостью, высоким содержанием обломков и почти целых ство-
рок брахиопод.

Прибрежно-морской косослоистый брахиоподовый ракушняк в
нижней части маардуской пачки и ладожского подгоризонта в виде
небольшого прослоя распространен на довольно широкой террито-
рии, но промышленной мощности достигает только в некоторых
частях приглинтавой полосы Эстонии (месторождения Иру, Маар-
ду, Тситре-Валкла, Тоолсе, Азери-Сака). Повторное появление в
разрезе фосфоритовой серни прослоев ракушняка, разделенных бо-
лее мелкосернистыми породами, в этих же районах свидетельст-
вует, вероятно, о неустойчивости гидродинамического режима бас-
сейна и положения береговой линии в районе современного глинта.

Все месторождения Ленинградской области, а также месторож-
дение Нарва и большая часть Тоолсе связаны с прибрежно-мор-
скими, возможно придельтовыми косослоистыми детритовыми пес-
чаниками верхней части фосфоритоносных отложений Прибалтий-
ско-Ладожского бассейна — тосненского подгоризонта и суурыйе-
ской пачки.

Таким образом, образование фосфоритовых руд в Прибалтий-
ско-Ладожском бассейне связано везде с прибрежно-морской зо-
ной; промышленные руды на западе бассейна приурочены к осно-
ванию, а на востоке — к верхней части разреза пакерортских фос-
форитоносных отложений.

К югу от приглинтавой полосы прибрежно-морские отложения
постепенно сменяются мелководно-морскими, формировавшимися в
удалении от береговой линии. Для этих отложений характерно
преобладание горизонтальной слоистости, а также мелкопесчаного
и алевроитового материала. Фосфатный материал присутствует в
них преимущественно в виде мелкого детрита, в количестве обычно
не более 10% (2—3% Fe_2O_5). Очевидно, в удалении от глинта об-
наружение промышленных скоплений фосфоритов маловероятно.

В южном направлении фосфоритоносные отложения пакерорт-
ского горизонта прослеживаются на большой площади, включаю-
щей почти всю Прибалтику. Они зафиксированы в разрезах от-
дельных скважин на глубинах 2000 м и более.

МЕТОДИКА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И ПОИСКОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ФОСФОРИТОВЫХ РУД, СВЯЗАННЫХ С ГРУППОЙ ТЕРРИГЕННЫХ ФОСФОРИТОНОСНЫХ ФОРМАЦИЙ

Методика прогнозирования

Прогнозные исследования на фосфоритовые руды группы тер-
ригенных фосфоритоносных формаций проводятся с учетом общих
методических указаний в гл. III. Специфика прогнозирования на

ракушняковый и ракушняковый типы фосфоритовых руд определяются принадлежностью их месторождений к платформенным областям, для которых характерны: 1) широкое площадное распространение фосфоритовых формаций; 2) их горизонтальное или близкое к нему залегание; 3) обычно сложное строение фосфоритовой серии — чередование фосфоритовых слоев и пустых пород; 4) преимущественно небольшая мощность фосфоритовой серии (первые метры) и отдельных фосфоритовых слоев (несколько десятков сантиметров).

Между стадиями прогнозных работ обычно существует определенная преемственность, заключающаяся в последовательном проведении в одном и том же районе обзорного, регионального и локального прогнозирования. Эта последовательность, однако, может и не соблюдаться, если в результате обзорных прогнозных работ будет обнаружен достаточно перспективный участок или фосфоритовая залежь. В этом случае локальное прогнозирование может производиться, минуя стадию региональных прогнозных работ.

Обзорное прогнозирование базируется на региональных закономерностях (прогнозных критериях), контролирующих образование и размещение фосфоритовых формаций или субформаций рассматриваемой группы в пределах фосфоритовых провинций, бассейнов или районов. Соответственно объектом исследований при обзорном прогнозировании являются в разрезе фосфоритовые формации или субформации терригенной группы, а на площади — фосфоритовые провинции, бассейны или районы. В табл. 26 сведены главные прогнозные критерии продуктивных фосфоритовых формаций терригенной группы, с которыми связана основная масса месторождений желваковых (Волжского, Днепровско-Донецкого и Актюбинского бассейнов) и ракушняковых (Прибалтийско-Ладожского бассейна) фосфоритовых руд Восточно-Европейской платформы.

Главными методами исследований на стадии общего прогнозирования являются формационный и минерагенический анализы. В комплект обязательных карт включаются вспомогательные (регистрационная, формационная, палеотектоническая, иногда палеогеографическая и палеоклиматическая) и основные (минерагеническая и прогнозная). Принципы построения карт и их нагрузка определяются общими требованиями.

Специфика обзорных прогнозных работ на фосфоритовые руды группы терригенных фосфоритовых формаций отражается на графических материалах. В качестве вспомогательных материалов, кроме общих для всех типов месторождений, желательны составление литолого-фациальной и палеотектонической карт. На палеотектонической карте отражаются основные структуры (синеклизы, антеклизы) и их особенности (перикратонные, интракратонные, унаследованные, наложенные). На основе этих карт строится минерагеническая карта с прогнозной накладкой. В их задачу входит главным образом районирование территории.

Главные прогнозные критерии фосфоритовых формаций

Прогнозные критерии	Глауконит-терригенная группа
Тектоническое положение	Платформа: склоны и смежных антеклиз
Стратиграфическое положение	Верхняя часть отдельных бассейнов узкие интервалы
Палеогеографическое положение	Мелководные эпиконтинентальные морские бассейны
Климатическая приуроченность	Гумидная зона или переходная к аридной
Положение в рядах формаций: в вертикальных рядах	В основании ряда формаций (например, в бассейне Н. С. Шатского)
подстилающая формация	Терригенная
перекрывающая формация	Карбонатная (известняки) и кремнистая (оползни)
в горизонтальных рядах	Местами перекрывающая «меловой» и «оползневую»
другие особенности	Нижняя граница — скалывание, верхняя — скалывание на мелкой шкале от метра до дециметра
Состав формации: главные породы	Глины, известняки и глауконитовые пески, глины
второстепенные породы	Горючие сланцы, известняки

Главнейшие прогнозные критерии продуктивных
фосфоритоносных формаций терригенной группы

Прогнозные критерии	Глауконит-терригенная формация	Органогео-терригенная формация
Тектоническое положение	Платформа: склоны синеклиз и смежных антеклиз	Платформа: пологие склоны структур второго порядка
Стратиграфическое положение	Верхняя юра — палеоген, в отдельных бассейнах — более узкие интервалы	Ордовик
Палеогеографическое положение	Мелководные эпиконтинентальные морские бассейны	Открытые мелководные заливы морских бассейнов
Климатическая приуроченность	Гумидная зона или переходная к аридной	Аридная или полуаридная зона
Положение в рядах формаций:		
в вертикальных рядах	В основании ряда глауконитовой группы формации (по Н. С. Шатскому)	В нижней части ряда
подстилающая формация	Терригенная	Терригенная
перекрывающая формация	Карбонатная («меловая») и кремнистая («опоковая»)	Карбонатная (доломито-известняковая)
в горизонтальных рядах	Местами переклинивание с «меловой» и «опоковой»	Не прослежены
другие особенности	Нижняя граница — перерыв; верхняя — скользит во временной шкале от альба до палеогена	Нижняя граница четкая (перерыв, несогласие), верхняя — постепенная
Состав формации: главные породы	Глины, кварцевые и кварц-глауконитовые пески, песчаники	Кварцевые пески, песчаники, глины и аргиллиты (сланцы)
второстепенные породы	Горючие сланцы, мергели	Алевриты, алевролиты

Прогнозные критерии	Глауконит-терригенная формация	Органо-енно-терригенная формация
Особенности строения формации	По латерали: пески кварцевые разнозернистые (прибрежные фации); пески слабо известковистые, кварц-глауконитовые и глауконит-кварцевые мелкозернистые с фосфоритами (мелководные фации); алевроито-глинистые, мергельные и меловые породы (относительно глубоководные фации). Вертикальный разрез формации (снизу вверх): глины с подчиненными прослоями песков, горючих сланцев и мергелей; пески, песчаники, алевролиты кварц-глауконитовые с фосфоритами, глины; вновь песчано-алевритовые в различной степени фосфоритоносные породы. Строение формации по латерали и в разрезе характеризуется сильной изменчивостью	По латерали: пески грубо- и крупнозернистые косослонистые (прибрежные фации), пески средне- и мелкозернистые косослонистые, пески тонкозернистые и алевролиты (мелководные фации). В вертикальном разрезе формации (снизу вверх): пески, содержащие фосфатные раковины или их обломки, переслаивание песков и аргиллитов (сланцев) или глин, затем сланцы и снова пески
Характеристика фосфоритоносности	Месторождения от мелких до крупных; типы руд: желваковый, желваково-плитный, гравийно-галечный	Средние и мелкие месторождения, тип руд ракушняковый

тального изучения. Фосфоритоносные формации показываются до глубины, доступной для разработки открытым способом.

Региональное и локальное прогнозирование. В процессе региональных и локальных прогнозных работ на фосфоритовые руды группы терригенных фосфоритоносных формаций учитываются главным образом прогнозные критерии месторождений (табл. 27), определяющие стратиграфическую, структурно-палеотектоническую и другую приуроченность месторождений конкретной фосфоритоносной формации или субформации на территории анализируемого фосфоритоносного бассейна или района. В процессе работ на стадиях регионального и локального прогнозирования уточняются и детализуются также и прогнозные критерии продуктивных фосфоритоносных формаций и субформаций.

Ниже приводятся последовательность и специфика применения прогнозных критериев на стадии региональных и локальных прогнозных работ на фосфоритовые руды терригенных фосфоритоносных формаций на примере желваковых и ракушняковых фосфоритовых руд Восточно-Европейской платформы.

Прогнозные критерии месторождений терригенных фосфоритов

Прогнозные критерии	Месторождения
Стратиграфические	Связь с образованием юрского яруса верхней пермской и триасового и юрских ярусов нижнего мелового манского и сальтманского ярусов верхней меловой
Структурно-палеотектонические	Приуроченность к синеклиз (Московский, Пийской и др.) и синеклиз (Воронежская) развивающиеся в дифференцированных движениях с тенденцией к оседанию. В пределах последних месторождения локализируются в наляющих их конформных структурах (Бессарбская впадина, Тульская выступ и др.) богатые руды связаны с жителями формации рельефа, смежные с тельными
Формационные	Связаны с глауконит-терригенной формацией
Палеогеографические	Формирование фосфоритовых руд связано с частыми сиями и трансгрессиями развивающимися на фоновой трансгрессии. Наиболее богатые рудные залежи относятся к участкам пониженной, характерной для фоновых осадочных формаций, с низким рельефом для и шимся по активности осадочным режимом
Палеоклиматические	Зоны типично гумидного мезоклимата или переходного к аридному

Прогнозные критерии месторождений фосфоритовых руд группы терригенных фосфоритоносных формаций

Органо-генно-терригенная формация

По латерали: пески грубо- и крупнозернистые косослоистые (прибрежные фации), пески средне- и мелкозернистые косослоистые, пески тонкозернистые и алевролиты (мелководные фации). В вертикальном разрезе формации (снизу вверх): пески, содержащие фосфатные раковины или их обломки, переслаивание песков и аргиллитов (сланцев) или глин, затем сланцы и снова пески

Средние и мелкие месторождения, тип руд ракушняковый

ации показываются до м способом.

ис. В процессе регио- фосфоритовые руды формаций учитываются орождений (табл. 27), ктурно-палеотектониче- ний конкретной фосфо- территории анализиру- на. В процессе работ огнозирования уточня- ритерии продуктивных

специфика применения ых и локальных прог- генных фосфоритос- кушняковых фосфори-

Прогнозные критерии	Месторождения желваковых руд	Месторождения ракушняковых руд
Стратиграфические	Связь с образованиями волжского яруса верхней юры, Берриасского и валанжинского ярусов нижнего мела и сеноманского и сантон-кампанского ярусов верхнего мела	Скопления фосфатных раковин встречаются в осадках от кембрия до современных. Расцвет жизнедеятельности организмов с фосфатными раковинами отмечается в ранне-среднеордовикское время, к которому относятся известные месторождения этого типа
Структурно-палеотектонические	Приуроченность к склонам синеклиз (Московской, Прикаспийской и др.) и смежных антеклиз (Воронежская и др.), развивающихся в условиях дифференцированных тектонических движений с общей тенденцией к опусканию. В пределах последних месторождения локализуются на осложняющих их конседиментационных структурах (Вятско-Камская впадина, Тумско-Шатурский выступ и др.). Наиболее богатые руды связаны с положительными формами палеорельефа, смежными с отрицательными	Приуроченность месторождений к пологим краевым частям отрицательных структур платформенных областей, а в их пределах к мелкозападинным формам рельефа
Формационные	Связаны с глауконит-терригенной формацией	Связаны с органо-генно-терригенной формацией
Палеогеографические	Формирование фосфоритовых руд связано с частными регрессиями и трансгрессиями моря, развивающимися на фоне крупной трансгрессии. Наиболее богатые рудные залежи приурочены к участкам палеобассейна, характеризующимся замедленной седиментацией, расчлененным рельефом дна и меняющимся по активности гидродинамическим режимом	Приуроченность продуктивных серий к мелководным заливообразным морским бассейнам, глубоко вдающимся в низменную равнинную сушу, а в их пределах — к придельтовым, прибрежным и мелководным фациям
Палеоклиматические	Зоны типично гумидного палеоклимата или переходного к аридному	Зоны аридного или полуаридного климата

Прогнозные критерии	Месторождения желваковых руд	Месторождения ракушняковых руд
Литологические	Залегание фосфоритовых серий в терригенных (Волжский бассейн) и терригенно-карбонатных (Днепровско-Донецкий бассейн) комплексах пород, по латерали переходящих в карбонатные и карбонатно-глинистые. Фосфоритовые серии наиболее крупных месторождений располагаются между углито-сланцево-глинистыми (внизу) и глинистыми (вверху), а также песчаными и глинистыми в различной степени известковистыми образованиями (Волжский и Актюбинский бассейны). Фосфоритовые серии мелких и средних месторождений локализуются между песчано-глинистыми и мергельными породами (Днепровско-Донецкий бассейн)	Продуктивные горизонты приурочены к разнозернистым пескам; наиболее богатые руды связаны с косослоистыми, преимущественно среднезернистыми песками
Минералогические	<p>1. Характерная региональная ассоциация: фосфаты, кальцит — глауконит — кварц — кальцит — глинистые минералы (гидрослюда, монтмориллонит)</p> <p>2. Высокое (или относительно высокое для каждого конкретного бассейна или района) содержание в породах фосфоритовых серий глауконита и постоянная примесь кальцита (15%)</p> <p>3. Специфические минералогические ассоциации, налагающиеся на региональную, в пределах некоторых бассейнов или их частей (сидерит-пиритовая и сидерит-пирит-гидрогетитовая ассоциация в северной части Волжского бассейна и др.)</p>	<p>Основные породообразующие компоненты фосфоритовых руд: кварц (65—90%) и органогенный раковинный детрит (до 35%). Подчиненное значение имеют карбонаты (доломит, кальцит), пирит, гидроокислы железа</p>
Геохимические	<p>1. Повышенные содержания в фосфоритах радиоактивных элементов, редких земель, стронция, марганца</p> <p>2. Наличие повышенных против кларка концентраций кобальта, ванадия, никеля, бария, бора, титана, связанных</p>	<p>Повышенное содержание стронция, редких земель, повышенная радиоактивность до 20—30, иногда 45 мкР/ч. Наличие горизонтов битумных сланцев, обладающих повышенной радиоактивностью</p>

Прогнозные критерии	Месторождения желваковых руд
Горнотехнические	с минералами-спутниками фосфоритового вещества — в том, глинистые и др. Конкретизируются в дого района

1. Уточнение возраста перспективных (волжский ярус верхней юры, берриасский и нижнего мела, сеноманский и верхнего мела для желваковых фосфоритовых руд); составление более точных (пакерортский горизонт) ракушняковых фосфоритовых руд); составление карт колонок с выделением трансгрессивных циклов и ритмов (масштаб 1:100 000) выделенного структурного яруса составления и палеогеологические профили (для масштаба 1:100 000) через 10—50 км; горизонтальный масштаб в 2—4 раза крупнее масштаба карты.

2. Выделение конседиментационных структур (Тумско-Шатурский выступ, Берриасский и др.), осложняющих склоны синклиналей, делая положительными формы палеорельефа (для желваковых фосфоритовых частей отрицательных структур в пределах — мелкозападинных форм ракушняковых фосфоритовых руд).

3. Обособление в пределах областей мелководий площадей с резко сокращенной амплитудой приливов и донных течений, а также учет влияния рельефом дна (для желваковых фосфоритовых руд) придельтовых, прибрежных и мелководных ракушняковых фосфоритовых руд).

4. Выделение благоприятных для фосфоритовых руд структур: сланцево-глинистых и песчано-глинистых известковистых пород и особенно сланцевых и известковистых пород (для ракушняковых фосфоритовых руд) или разнозернистых (для желваковых фосфоритовых руд) или разнозернистых (для ракушняковых фосфоритовых руд) косослоистых песков с фосфатсодержащей фауны, концентрирующейся в слоях и линзах (для ракушняковых фосфоритовых руд).

Месторождения ракушняковых руд

Прогнозные критерии	Месторождения желваковых руд	Месторождения ракушняковых руд
Горнотехнические	с минералами-спутниками фосфатного вещества — глауконитом, глинистыми минералами и др. Конкретизируются для каждого района	

Продуктивные горизонты приурочены к разнозернистым пескам; наиболее богатые руды связаны с косослоистыми, преимущественно среднезернистыми песками

Основные породообразующие компоненты фосфоритовых руд: кварц (65—90%) и органогенный раковинный детрит (до 35%). Подчиненное значение имеют карбонаты (доломит, кальцит), пирит, гидроокислы железа

Повышенное содержание стронция, редких земель, повышенная радиоактивность до 20—30, иногда 45 мкР/ч. Наличие горизонтов битумных сланцев, обладающих повышенной радиоактивностью

1. Уточнение возраста перспективных интервалов до яруса (волжский ярус верхней юры, берриасский и валанжинский ярусы нижнего мела, сенманский и сантон-кампанский ярусы верхнего мела для желваковых фосфоритовых руд), а если возможно и точнее (пакерортский горизонт и его пачки для ракушняковых фосфоритовых руд); составление сводных стратиграфических колонок с выделением трансгрессивной и регрессивной составляющих циклов и ритмов (масштаб 1:100—1:25). Для каждого выделенного структурного яруса составляются схемы сопоставления и палеогеологические профили (для карт среднего масштаба через 10—50 км; горизонтальный масштаб профилей принимается в 2—4 раза крупнее масштаба составлений прогнозной карты).

2. Выделение конседиментационных структур (Вятско-Камская впадина, Тумско-Шатурский выступ, Брянско-Воронежская терраса и др.), осложняющих склоны синеклиз и антеклиз, а в их пределах положительных форм палеорельефа, смежных с отрицательными (для желваковых фосфоритовых руд), или пологих краевых частей отрицательных структур платформенных областей, а в их пределах — мелкозападинных форм рельефа (для ракушняковых фосфоритовых руд).

3. Обособление в пределах областей мелководных морских фаций площадей с резко сокращенной мощностью отложений, которым свойственны перемены осадков в зонах активного действия волн и донных течений, а также участков моря с расчлененным рельефом дна (для желваковых фосфоритовых руд) или областей придельтовых, прибрежных и мелководных фаций (для ракушняковых фосфоритовых руд).

4. Выделение благоприятных для фосфатонакопления литофаций: сланцево-глинистых и песчано-глинистых в различной степени известковистых пород и особенно слабозвестковистых, обогащенных глауконитом мелкозернистых песков и алевроитов (для желваковых фосфоритовых руд) или разномелкозернистых (преимущественно среднезернистых) косослоистых песков с наибольшим количеством фосфатодержащей фауны, концентрирующейся в отдельных про-
слоях и линзах (для ракушняковых фосфоритовых руд).

5. Выделение в каждом конкретном районе на фоне региональной минералогической ассоциации (фосфат кальция — глауконит — кварц — кальцит — гидрослюда) специфической локальной минералогической ассоциации (фосфата кальция дополнительно с сидеритом и пиритом для Верхнекамского фосфоритоносного района или фосфата кальция дополнительно с сидеритом, пиритом и гидроокислами железа для Верхневолжского фосфоритоносного района).

6. Установление в пределах конкретных районов благоприятных для фосфатообразования геохимических обстановок и количественных соотношений элементов, парагенных фосфату кальция (урана, тория, радия, стронция, редких, земель, марганца) или его минералам-спутникам: глаукониту, монтмориллониту, гидрослуде и др. (кобальта, бария, никеля, титана, бора, циркония, ванадия и др.).

7. Конкретизация для каждого прогнозируемого района параметров продуктивного горизонта (глубина залегания, мощность и др.) и качества фосфоритов (содержание P_2O_5 , MgO , Fe_2O_3 и др.) в соответствии с требованиями, предъявляемыми промышленностью к месторождениям для открытой разработки и характером использования сырья. Например, для желваковых фосфоритовых руд Вятско-Камского месторождения установлены следующие значения параметров: глубина залегания продуктивной толщи до 30 м, ее мощность 0,5—2 м, продуктивность более 500 кг/м², содержание P_2O_5 в руде более 5%; для ракушняковых фосфоритовых руд Прибалтийского-Ладожского: глубина залегания фосфоритоносной толщи не более 25 м, ее мощность 0,5—5 м, содержание P_2O_5 более 3%.

Методика поисков

Методика поисковых работ на фосфоритовые руды группы терригенных фосфатоносных формаций строится на использовании региональных и локальных закономерностей образования фосфоритовых руд желвакового и ракушнякового типов, контролирующих размещение их месторождений и вытекающих из них критериев последних. Ниже рассматривается методика поисков фосфоритовых руд названной группы формации на примере Восточно-Европейской платформы.

Общие поиски на желваковые и ракушняковые руды должны выявлять перспективные площади (или участки). Эти работы проводятся на основе геологических и прогнозных карт масштаба 1:200 000 — 1:50 000 с применением геологических, геофизических и геохимических поисковых методов и необходимого объема горных и буровых работ. Геофизические и геохимические работы проводятся, как правило, одновременно с геологическим картированием, однако отдельные виды их могут опережать его (например, реконструктивные аэро- и авторадиметрические).

Общие поиски фосфоритоносных руд группы терригенных целесообразно начинать с аэровизуальных наблюдений, аэrorадиметрических наблюдений, аэrorадиметрических наблюдений, аэrorадиметрических наблюдений, аэrorадиметрических наблюдений. В основе аэровизуальных наблюдений — прослеживание фосфоритоносных пород, водоносным горизонтам, растительности.

Аэrorадиметрической (аэrorадиметрической) съемкой (аэrorадиметрической) выявляются аномалии, связанные с фосфоритовыми толщами и проявлениями фосфоритовых руд, пачек и пластов, или геохимическими ореолами в зонах активных элементов в покровных рудных породах.

В результате последующих работ на территории выявляются следующие задачи: уточняются границы аномалий, проверяются в аэровизуальных наблюдениях, аэrorадиметрических и других аномалий, а также региональных геологосъемочных и региональных прогнозных исследований, поисковых, разведочных и др. полезные ископаемые.

Авторадиметрическая (аэrorадиметрическая) съемка производится в масштабе 1:25 000 на проходных для выявления аномалий обычно связанных с фосфоритовым залеганием или вторичными продуктами рассеяния урана и др. Они способствуют выявлению фосфоритоносных толщ, фосфоритных пачек и пластов.

Геологическое картирование осуществляется в масштабе 1:25 000 с учетом результатов аэровизуальных и авторадиметрических исследований в других масштабах. Фактический материал должен быть пропущены крупные месторождения фосфоритовых руд. Геологическое картирование должно осуществляться в масштабе 1:25 000 с учетом результатов аэровизуальных и авторадиметрических исследований в других масштабах. Фактический материал должен быть пропущены крупные месторождения фосфоритовых руд.

Геологические наблюдения должны осуществляться в масштабе 1:25 000 с учетом результатов аэровизуальных и авторадиметрических исследований в других масштабах. Фактический материал должен быть пропущены крупные месторождения фосфоритовых руд.

е на фоне региональ-
льция — глауконит —
ой локальной мине-
я дополнительно с
осфоритоносного рай-
ддеритом, пиритом и
о фосфоритоносного

районов благоприят-
обстановок и количе-
ых фосфату кальция
ль, марганца) или его
иллониту, гидрослюде
, циркония, ванадия и

руемого района пара-
алегания, мощность и
O₅, MgO, Fe₂O₃ и др.)
няемыми промышлен-
работки и характером
аковых фосфоритовых
влены следующие зна-
тивной толщи до 30 м,
500 кг/м², содержание
осфоритовых руд При-
осфоритоносной тол-
держание P₂O₅ более

овые руды группы тер-
я на использовании
образования фосфори-
плов, контролирующих
х из них критериев по-
исков фосфоритовых
е Восточно-Европей-

ковые руды должны
ки). Эти работы про-
ых карт масштаба 1:
ких, геофизических и
имого объема горных
ские работы прово-
ским картированием,
его (например, ре-
кие съемки), а неко-
анационная съемка).

Общие поиски фосфоритоносных отложений и фосфоритовых руд группы терригенных фосфоритоносных формаций целесообразно начинать с рекогносцировочных методов (аэровизуальные наблюдения, аэrorадиометрическая съемка), по результатам которых можно составить первое ориентировочное представление о распространении продуктивных толщ (табл. 28). В основе аэровизуальных наблюдений лежат признаки, обеспечивающие прослеживание фосфоритоносных отложений по цвету пород, водоносным горизонтам, растительным сообществам и др.

Аэrorадиометрической (аэрогамма-радиометрической и аэрогамма-спектрометрической) съемкой масштаба 1 : 50 000—1 : 25 000 выявляются аномалии, связанные непосредственно с месторождениями и проявлениями фосфоритовых руд, коренными выходами фосфоритоносных толщ, пачек и пластов, их механическими обломками или геохимическими ореолами и потоками рассеяния радиоактивных элементов в покровных рыхлых отложениях.

В результате последующих работ на подстанции общих поисков решаются следующие задачи: уточняется геологическое строение района исследований, проверяются и детализируются результаты аэровизуальных наблюдений, аэrorадиометрических, геохимических и других аномалий, а также результаты ранее проведенных региональных геологосъемочных и геофизических работ, обзорных и региональных прогностических исследований на фосфориты, тематических, поисковых, разведочных и прочих видов работ на другие полезные ископаемые.

Авторадиометрическая (автогамма-радиометрическая и автогамма-спектрометрическая) съемка проводится в масштабе 1 : 50 000—1 : 25 000 на проходимых для автомашины площадях. Радиоактивные аномалии обычно связаны с фосфоритоносными породами в коренном залегании или вторичными геохимическими ореолами рассеяния урана и др. Они способствуют прослеживанию фосфоритоносных толщ, фосфоритных горизонтов, пачек и пластов.

Геологическое картирование осуществляется по естественным и искусственным обнажениям в двух вариантах: маршрутном и площадном. Сеть маршрутов определяется согласно заданному масштабу, с учетом результатов аэровизуальных наблюдений, рекогносцировочных радиометрических и других работ. Густота точек фактического материала должна задаваться так, чтобы не были пропущены крупные месторождения фосфоритовых руд. Исходя из фактического материала по европейской части СССР в отношении размеров месторождений фосфоритовых руд, ориентировочно она должна составлять при общих поисках желваковых месторождений не менее 10×10 км, а ракушняковых — 6×6 км со сгущением в 2—3 раза на площадях распространения промышленных фосфоритовых руд.

Геологические наблюдения должны сопровождаться изучением механических ореолов и потоков рассеяния, штурфным качественным опробованием на P₂O₅ элювиальных, делювиальных и других рыхлых образований валунно-ледниковым, обломочно-речным и шли-

Виды работ и рекомендуемые методы в подстадию общих поисков месторождений фосфоритовых руд, связанных с группой терригенных формаций

Содержание работ	Рекомендуемые методы	
	в открытых районах	в закрытых районах
Рекогносцировочные работы		
Аэропоиски связанных с фосфоритоносными отложениями радиоактивных аномалий	Аэровизуальные наблюдения	
	Аэрогамма-радиометрическая съемка *	
	Аэрогамма-спектроскопическая съемка *	
Автомобильные поиски фосфоритоносных отложений и детализация радиоактивных аномалий	Автогамма-радиометрическая съемка *	
	Автогамма-спектрометрическая съемка *	
Работы по уточнению геологического строения района, проверке и детализации аномалий:		
Пешеходные поиски фосфоритоносных отложений и фосфоритовых руд	Геологическое картирование * с валунно-ледниковым, обломочно-речным, штуфным, шлиховым, качественным и радиометрическим опробованием	
	Гамма-радиометрическая съемка *	Эманационная съемка *
	Гамма-спектрометрическая съемка *	
	Фосфорометрия	
	Фторометрия	
	Электроразведка *	
	Литогеохимическая съемка *	Гидрохимическая съемка
Поиски фосфоритовых руд проходкой горных выработок и бурением скважин и подсчет их прогнозных запасов	Неглубокие горные выработки * со штуфным, бороздовым и радиометрическим опробованием	
	Мелкие буровые скважины * с кернавым и радиометрическим опробованием	Буровые скважины * с кернавым и радиометрическим опробованием

ховым методами и отбором образцовый и другие виды анализов. В результате обнаружены обломки и гальки порками фосфатизации, а также повывных и других парагенных им минер

Геологическое изучение перспектив) на фосфоритовые руды доломитскими (пешеходные гамма-радиометрическая, эманационная съемки, геохимическими методами поисковой съемки). Хотя применены для непосредственных поисков фосфоритовых фосфоритоносных формаций успехом решаются некоторые задачи исследований. Например, с помощью электропрофилирования) на Вязьме определялись глубины залегания В табл. 29 и последующем пояснения полный перечень методов исследований фосфоритовых руд группированных формаций. В полном объеме, характеризующихся нарушением чивостью фосфоритоносных отложений пластов, качества руд, прихотливы

Содержание работ и рекомендуемые методы фосфоритовых руд терригенных

Содержание работ	в открытых районах
Уточнение геологического строения перспективных площадей, контуров фосфоритовых залежей, глубины залегания и мощности фосфоритовых руд	Геологическое картирование, обломочно-речным, шлиховым, качественным и радиометрическим опробованием Гамма-съемка Гамма-спектрометрическая Литогеохимическая съемка Горные выработки
Изучение качества руд	Буровые скважины с кернавым и радиометрическим опробованием
Определение прогнозных запасов	

ю общих поисков

Д,
маций

методы

в закрытых районах

ния

кая съемка *

еская съемка *

кая съемка *

еская съемка *

ения района,
ий:ание * с валунно-ледни-
штурфным, шлиховым,
рическим опробованием
Эманационная съемка *

ая съемка *

Электроразведка *

Гидрохимическая съем-
каБуровые скважины * с
кernовым и радиометри-
ческим опробованием

ховым методами и отбором образцов на спектральный, минеральный и другие виды анализов. В результате опробования могут быть обнаружены обломки и гальки пород, фауны и флоры с признаками фосфатизации, а также повышенные концентрации фосфатных и других парагенных им минералов и элементов.

Геологическое изучение перспективных площадей (или участков) на фосфоритовые руды должно сопровождаться геофизическими (пешеходные гамма-радиометрическая, гамма-спектрометрическая, эманационная съемки, фосфорометрия, фторометрия) и геохимическими методами поисков (литогеохимическая, гидрохимическая съемки). Хотя применение общегеохимических методов для непосредственных поисков фосфоритовых руд группы терригенных фосфоритовых формаций обычно неэффективно, но ими с успехом решаются некоторые задачи геологического изучения района исследований. Например, с помощью электроразведки (ВЭЗ и электропрофилирования) на Вятско-Камском месторождении определялись глубины залегания фосфоритовых толщ. В табл. 29 и последующем поясняющем тексте приведен наиболее полный перечень методов исследований при общих поисках фосфоритовых руд группы терригенных фосфоритовых формаций. В полном объеме они применимы для районов, характеризующихся нарушенностью, фациальной неустойчивостью фосфоритовых отложений, изменчивостью мощности пластов, качества руд, прихотливым очертанием контуров отложе-

Таблица 29

Содержание работ и рекомендуемые методы при детальных поисках фосфоритовых руд терригенных фосфоритовых формаций

Содержание работ	Рекомендуемые работы	
	в открытых районах	в закрытых районах
Уточнение геологического строения перспективных площадей, контуров фосфоритовых залежей, глубины залегания и мощности фосфоритовых руд	Геологическое картирование с валунно-ледниковым, обломочно-речным, штурфным, шлиховым, качественным и радиометрическим опробованием Гамма-съемка Гамма-спектрометрия Литогеохимическая съемка	Эманационная съемка Электроразведка Гидрохимическая съемка
Изучение качества руд	Горные выработки,	опробование
Определение прогнозных запасов	Буровые скважины с kernовым и радиометрическим опробованием	

ний и пр. Разумеется, при более простом строении района исследованной часть методов опускается. Например, если уже в процессе реконструктивных аэровизуальных наблюдений выявлена площадь распространения фосфоритонесных отложений с достаточно четкими контурами, а первые наземные маршруты подтверждают постоянство параметров фосфоритонесной толщи, то последующие работы сосредоточиваются на конкретной площади.

Окончательная детализация контуров перспективных площадей (или участков) осуществляется в процессе проходки горных выработок и бурения скважин по редкой сетке (от 10×10 до 6×6 км). В открытых районах общие поиски ведутся неглубокими горными выработками (закопшки, расчистки, шурфы, канавы и др.) и мелкими буровыми скважинами, а в закрытых районах — буровыми скважинами. Горнопроходческие и буровые работы сопровождаются опробованием (штурфным, бороздовым, керновым) и радиометрическими исследованиями (гамма-профилирование, гамма-картаж).

Методика проведения перечисленных выше геологических, геофизических и геохимических поисковых методов, опробования фосфоритонесных отложений и отбора образца должна отвечать требованиям, изложенным в соответствующих инструкциях и руководствах.

Детальные поиски проводятся на основе геологических и прогнозных карт масштаба $1 : 50\,000$ — $1 : 25\,000$ с обязательным применением полевых геологических, геофизических и геохимических методов (см. табл. 29). Главными на этой подстадии поисковых работ являются горные и буровые работы.

Детальные поиски обычно проводятся на площадях (или участках), выделенных в процессе общих поисков в качестве перспективных. Работы на этой подстадии поисков заключаются в уточнении геологического строения перспективных площадей, оконтуривании залежей фосфоритовых руд, конкретизации их глубины залегания и мощности, изучении качества фосфоритов, проведении тектонических исследований и подсчете прогнозных запасов.

Для каждой исследуемой площади уточняются параметры продуктивного горизонта и качества фосфоритов в соответствии с требованиями, предъявляемыми промышленностью к месторождениям для открытой разработки, и характером использования сырья. Например, для желваковых фосфоритовых руд Вятско-Камского месторождения, используемых в качестве сырья для производства фосфоритовой муки, установлены: глубина залегания продуктивной толщи до 30 м, мощность 0,5—2 м, продуктивность более 500 кг/м^2 , содержание P_2O_5 в руде более 5%; для ракушняковых фосфоритовых руд Прибалтийско-Ладожского бассейна: глубина залегания фосфоритонесной толщи не более 25 м, мощность 0,5—5 м, содержание P_2O_5 в руде более 3% и отсутствие крепкоцементированных разностей фосфоритовых руд.

Геологическое наблюдение проводится в маршрутном и пло-

жениям по более густой сетке по септентам. Ориентировочно точки фактуются располагать по сетке 5×5 км до 3×3 км — для ракушняковых со септентах распространения промышленны

Геологическое картирование перотложений, как и при общих поискахскими (пешеходные гамма-радиометрическая и эманационная съемки) и аэросъемка) методами. С помощьюное электрическое зондирование — решаются задачи по определению геОсобенность применения перечисленныхческих полевых методов заключается в детальности.

Основным видом работ на подстадии открытых районах является проходка и выработок и бурение мелких (до 3×3 — 5×5 до 3×3 км, а в закрытых районах до 50 м) в виде единичных профилей. Работы определяются конкретными условиями. Работы проводятся на расстоянии 10 — 15 км. Проходка горных выработок и бурение сопровождаются штурфным, бороздовым и гамма-профилированием и гамма-картаж лабораторные виды анализов. В этой подстадии определяется продуктивности желваковых

Методика геологических, геофизических, а также подсчета прогнозных запасов работ на подстадии детальных поисков с таковой при общих поисках. В результате должна быть проведена оценка запасов подсчетом прогнозных запасов в заключительных поисково-оценочных работ. Основным является составление схематических карт масштаба $1 : 10\,000$ — $1 : 5\,000$ и проведение промышленных месторождений, а также определение новых месторождений в масштабе $1 : 10\,000$ с необходимыми работ.

Поисково-оценочные работы. Они являются частью детальных поисков, реже они ставятся в виде отдельных проявлений или по заявкам первооткрывателей новых поисков. Поисково-оценочные работы включают в себя геологических и прогнозных исследований и заключаются в изучении фактического состояния поверхностных горных и буровых работ, а также полевых геофизических и геологических

ении района исследованы, если уже в процессе исследований выявлена плодородность с достаточно обильными подтвержденными фактами, то последующие работы.

Перспективных площадей проходки горных выработок (10×10 до 6×6 км), неглубокими горными выработками (канавы и др.) и мелкими буровыми работами (с бурением и радиометрированием, гамма-ка-

лора геологических, геохимических, опробования и анализа должна отвечать требованиям инструкций и руко-

ководств геологических и прогнозных обязательным применением геохимических методов на подстанции поисковых ра-

ботных площадях (или участках) в качестве перспективных включаются в уточнении границ, оконтуривании и глубины залегания, проведении тектонических запасов.

Определяются параметры прогноза в соответствии с близостью к месторождению использования сырьевых руд Вятско-Камского месторождения сырья для производства фосфоритов, глубина залегания промысла, продуктивность более 5%; для ракушняково-железного бассейна: глубина залегания более 25 м, мощность и отсутствие крепких пород.

В маршрутном и площадном искусственным обна-

жениям по более густой сетке по сравнению с таковой при общих поисках. Ориентировочно точки фактического материала рекомендуется располагать по сетке 5×5 км для желваковых фосфоритов и 3×3 км — для ракушняковых со сгущением в 2—3 раза на площадях распространения промышленных залежей.

Геологическое картирование перспективных фосфоритоносных отложений, как и при общих поисках, сопровождается геофизическими (пешеходные гамма-радиометрическая, гамма-спектрометрическая и эманиционная съемки) и геохимическими (литогеохимическая съемка) методами. С помощью электроразведки (вертикальное электрическое зондирование — ВЭЗ и электропрофилирование) решаются задачи по определению глубины залегания фосфоритов. Особенность применения перечисленных геофизических и геохимических полевых методов заключается в их большей точности и детальности.

Основным видом работ на подстанции детальных поисков в открытых районах является проходка неглубоких (до 2—3 м) горных выработок и бурение мелких (до 3—5 м) скважин по сетке от 5×5 до 3×3 км, а в закрытых районах — бурение скважин (до 30—50 м) в виде единичных профилей. Расстояние между профилями определяется конкретными условиями, но не должно превышать 10—15 км. Проходка горных выработок и бурение скважин сопровождаются штучным, бороздовым и керновым опробованием, гамма-профилированием и гамма-каротажем и отбором образцов на лабораторные виды анализов. В это время производится и определение продуктивности желваковых фосфоритовых руд.

Методика геологических, геофизических и геохимических методов, а также подсчета прогнозных запасов и оформления результатов работ на подстанции детальных поисков имеет много сходного с таковой при общих поисках. В результате детальных поисков должна быть проведена оценка перспектив изученного района с подсчетом прогнозных запасов и выделением объектов для дальнейших поисково-оценочных работ. Особенностью детальных поисков является составление схематических геологических карт масштаба 1:10 000—1:5 000 и проведение в районах известных промышленных месторождений, а также перспективных на выявление новых месторождений кондиционной геологической съемки масштаба 1:10 000 с необходимым объемом горных и буровых работ.

Поисково-оценочные работы, как правило, проводятся после детальных поисков, реже они ставятся на выявленных фосфоритопоявлениях или по заявкам первооткрывателей без предварительных поисков. Поисково-оценочные работы осуществляются на основе геологических и прогнозных карт масштаба 1:25 000 и крупнее и заключаются в изучении фосфоритопоявлений с помощью поверхностных горных и буровых работ с широким использованием полевых геофизических и геохимических методов (табл. 30).

На этой подстанции поисковых работ производится дальнейшее уточнение геологического строения при помощи электроразведки

Содержание работ и рекомендуемые методы поисково-оценочных работ на фосфоритовые руды терригенных фосфоритоносных формаций

Содержание работ	Рекомендуемые методы	
	в открытых районах	в закрытых районах
Уточнение геологического строения перспективных площадей, контуров фосфоритовых залежей и глубины их залегания	Горные выработки и скважины с опробованием, гамма-спектроскопия и гамма-каротаж	Буровые скважины с керновым опробованием, гамма-каротаж
Составление схематических геологических карт перспективных участков масштаба 1 : 10 000—1 : 2 000		
Изучение качества руд	Лабораторные и полупромышленные испытания руд	

(в модификации вертикального электрического зондирования — ВЭЗ и электропрофилирование) и других геофизических методов, конкретизация контуров фосфоритовых залежей, глубины залегания фосфоритовых руд и мощности продуктивных горизонтов посредством прихода горных выработок и бурения скважин. Сетка точек фактического материала сгущается в среднем от 3×3 до $1,5 \times 1,5$ км. Густота сети на этой подстанции поисков может меняться. Иногда предусматриваются комбинированные срезы методом бурения поисковых профилей вкост простирания перспективных фосфоритовых залежей с расстояниями между профилями 3 км и между скважинами на профилях 1,5 км. При оконтуривании месторождений (или их участков) сеть буровых скважин местами сгущают до 750—800 м для подсчета запасов по категории C_2 .

Широко должны использоваться радиометрические горнопроходческие и скважинные исследования, бороздовое и керновое опробование с последующим лабораторным технологическим испытанием фосфоритовых руд.

При поисково-оценочных работах составляются схематические геологические карты перспективных на фосфориты площадей (или участков) масштаба 1 : 10 000—1 : 2 000, на которых должны быть выделены объекты под предварительную разведку с определением прогнозных запасов и частично по категории C_2 .

МЕСТОРОЖДЕНИЯ ФОРМАЦИИ КОР ИХ ПРОГНОЗИР

Фосфоритовые руды и вторичные выветривания образуют группы месторождений и проявлений, характером составом исходного субстрата, по признаку их можно разделить на две группы: связанные с первичнофосфатными фосфатными магматическими продуктами (гуаво)

Месторождения, связанные с фосфатными продуктами, встречаются в субтропической зоне, большое практическое значение в СССР рассматриваются.

Кроме месторождений, имеют значение фосфаты рассматриваемого типа в поверхностной зоне ряда месторождений руд бассейнов Каратау, Джорджия, в бассейнах Каратау, Скалистости, выветривания карбонатов в зоне простирания обогатили первичных фосфоритовых залежей. Содержание P_2O_5 на несколько процентов.

Наиболее благоприятным субстратом для месторождений вторичных фосфоритовых залежей являются карбонатные породы. Характерные их представители — Аштинское месторождение бурых фосфоритов в штате

Аштинское месторождение бурых фосфоритов в штате Южного Урала в Челябинской области. Руды здесь заполняют карбонатные породы. Первичный субстрат, на котором образовались фосфоритовые образования, представлен буровыми литоморфными известняками мощностью до 500 м; они перекрываются залежами глинистыми сланцами кунгурского типа. Известняки содержат от сотен до тысяч процентов фосфора. Проб в районе месторождения — доломитизированные известняки.

в закрытых районах

Буровые скважины с
керновым опробованием,
гамма-картаж

полупромышленные испытания

геофизического зондирования —
геофизических методов,
методов залегания
горизонтов посредст-
венно скважин. Сетка точек
разведки от 3×3 до $1,5 \times 1,5$ км.
Сетка может меняться. Иногда
разведка методом бурения по-
перспективных фосфорито-
носных породами 3 км и между
контурированием месторожде-
ний местами сгущают до
горизонта S_2 .

геофизические горнопро-
гнозные и керновые оп-
робочные технологические испы-

представляются схематические
карты площадей (или
карты) на которых должны быть
разведка с определением
горизонта S_2 .

МЕСТОРОЖДЕНИЯ ФОСФОРИТОВЫХ РУД ФОРМАЦИИ КОРЫ ВЫВЕТРИВАНИЯ; ИХ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ И ПОИСКИ

Фосфоритовые руды и вторичные фосфориты формации коры выветривания образуют группу довольно разнообразных месторождений и проявлений, характер которых во многом определяется составом исходного субстрата, где они образовались. По этому признаку их можно разделить на три подгруппы (табл. 31): связанные с первичнофосфатными осадочными породами, первичнофосфатными магматическими породами и, наконец, с биогенными фосфатными продуктами (гуано).

Месторождения, связанные с гуано и другими биогенными фосфатными продуктами, встречающиеся в современной тропической и субтропической зонах, большей частью на океанических островах, практического значения в СССР не имеют и поэтому в работе не рассматриваются.

Кроме месторождений, имеющих самостоятельное значение, фосфаты рассматриваемого типа образуют небольшие тела в поверхностной зоне ряда месторождений первичных фосфоритовых руд бассейнов Каратау, Джорджина и др. На многих месторождениях бассейна Каратау, Скалистых гор и др. в результате выщелачивания карбонатов в зоне просачивания грунтовых вод происходит обогащение первичных фосфоритовых руд с увеличением содержания P_2O_5 на несколько процентов.

Наиболее благоприятным субстратом для образования месторождений вторичных фосфоритовых руд являются карбонатные или существенно карбонатные первично фосфатные породы. Характерные их представители — Ашинское месторождение и месторождения бурых фосфоритов в штате Теннесси, США.

Ашинское месторождение расположено на западном склоне Южного Урала в Челябинской области. Фосфориты и фосфоритовые руды здесь заполняют карстовую полость сложной формы. Первичный субстрат, на котором развиваются фосфатные карстовые образования, представлен брекчиевыми, органогенными и пелитоморфными известняками артинского яруса мощностью до 500 м; они перекрываются заглинованными глинами, мергелями и глинистыми сланцами кунгурского яруса. Брекчиевые и органогенные известняки содержат от сотых до 14% P_2O_5 ; в среднем по ряду проб в районе месторождения — 5—6% P_2O_5 . Подстилающие их доломитизированные известняки и доломиты характеризуются кларковыми содержаниями фосфора.

Месторождения фосфоритовых руд, связанные с формацией коры выветривания

Подгруппа месторождений (по характеру субстрата)	Формация субстрата		Тип формации коры выветривания		Месторождения фосфоритов
	Состав	Содержание P_2O_5 , %	геохимический	морфологический	
Связанные с первичноосадочными фосфатными породами	Карбонатные и существенно карбонатные, осадочные	От 1—1,5 и выше	Силлитный, реже латеритный	Локальный (карстовый), площадной, реже линейный вдоль тектонических зон	Неправильной формы заполнения карстовых полостей, реже площадные покровные залежи или линзовидные тела
	Терригенно-карбонатные или смешанные карбонатные и алюмосиликатные магматические	От 1—1,5 и выше	Силлитный, латеритный	Площадной, линейной (трещинной и контактовой) и комбинированной	Обычно линейного типа в контактах карбонатных пород с алюмосиликатными, а также заполнения карстовых полостей, реже плащевидные
	Терригенные и существенно терригенные осадочные	От 5—10 и выше (присутствуют фосфориты)	Латеритный	Площадной	Форма обусловлена конфигурами выветривающихся первичных фосфоритов
Связанные с первичноосадочными фосфатными породами	Карбонатные и алюмосиликатные магматические (апатитсодержащие)	До 5—7	Латеритный и силлитный	Площадной и карстовый	Заполнение карстов и линзовидные тела
	Карбонатные и существенно карбонатные	Кларковые	То же	То же	Плащевидные тела с неперывидной карстовой поверхностью подошвы
	Смешанные карбонатно-алюмосиликатные различного типа	То же	Латеритный, реже силлитный	Площадной	Плащевидные тела неправильной формы
Связанные с вторичноосадочными фосфатными породами (туфо и др.)	Алюмосиликатные различного типа (осадочные, магматические и метаморфические)	То же	Латеритный	То же	Плащевидные тела

Продолжение табл. 31

Подгруппа месторождений (по характеру субстрата)	Месторождения фосфоритов		Тип фосфоритовых руд	Содержание P_2O_5 , % масштаба месторождений	Примеры месторождений
	Минеральный состав и получаемые ископаемые	Состав			
Связанные с первичноосадочными фосфатными породами	Фосфаты кальция; иногда примесь алюмофосфатов в верхних горизонтах	Рыхлые, глинистые (от каолинитового состава до монтмориллонитового), брекчиевидные и твердые каменные	То же	10—35; от мелких до крупных (сотни млн. т)	Бурые и белые фосфориты Тенессей, формация Боун Велд (США); Алшское, Белкинское, Областжанское (СССР)
	Фосфаты кальция в нижних, алюмофосфаты местами в верхних горизонтах	То же, иногда с заметной примесью свободных гидроксидов алюминия и железа в рыхлых фосфоритовых рудках	То же	10—35, от мелких до крупных	Твердые фосфориты Флорида (США); Телевское, Селбиновское, Таманское (СССР), Нассу (ФРГ)
Связанные с вторичноосадочными фосфатными породами	Алюмофосфаты; фосфаты кальция местами в нижних горизонтах	Рыхлые песчано-глинистые, чешуйчатые с выветривающимися фосфатными включениями	То же	10—31, мелкие и тонкие и провалы	Туго, Тауба (Сенегал)

Карбонатные и алюмосиликатные магматические (апатит-содержащие)	До 5-7	Латеритный и силитный	Площадной и карстовый	Заполнение карстов и линейные тела
Карбонатные и существенно карбонатные	Кларковые	То же	То же	Плащевидные тела с неправильной карстовой поверхностью подошвы
Смешанные карбонатно-алюмосиликатные различного типа	То же	Латеритный, реже силитный	Площадной	Плащевидные тела неправильной формы
Алюмосиликатные различного типа (осадочные, магматические и метаморфические)	То же	Латеритный	То же	Плащевидные тела

Связанные с первичными фосфатными продуктами (гуано и др.)	Связанные преимущественно с первичноосадочными фосфатами	Связанные преимущественно с осадочными фосфатами	Связанные преимущественно с осадочными фосфатами	Связанные преимущественно с осадочными фосфатами
--	--	--	--	--

Продолжение табл. 31

Месторождения фосфоритов				
Минеральный состав и полупутиле полезные ископаемые	Тип фосфоритовых руд	Содержание P_2O_5 , % масштабы месторождений	Примеры месторождений	
Фосфаты кальция; иногда примесь алюмофосфатов в верхних горизонтах	Рыхлые, глинистые (от каолинитового состава до монтмориллонитового), брекчиевидные и твердые каменные	10-35; от мелких до крупных (сотни млн. т)	Бурые и белые фосфориты Теннесси, формация Буш Велл (США); Ашинское, Белкинское, Облачанское (СССР)	
Фосфаты кальция в нижних, алюмофосфаты местами в верхних горизонтах	То же, иногда с заметной примесью свободных гидроксидов алюминия и железа в рыхлых фосфоритовых рудах	10-35, от мелких до крупных	Твердые фосфориты Флорида (США); Телекское, Сейбиновское, Тамалакское (СССР), Нассау (ФРГ)	
Алюмофосфаты; фосфаты кальция только в нижних горизонтах	Рыхлые песчано-глинистые, участками спемитированные; фосфатами алюминия	13-31, мелкие м-ния и проявления	Тисс, Табла (Сенегал)	
Фосфаты кальция, алюмосиликаты	Руды различных типов, часто с включенными остаточными зернами апатита	До 25-35; проявления, мелкие м-ния	Ковлор, Ессей (СССР); Серроте (Бразилия)	
Фосфаты кальция, иногда с примесью фосфатов алюминия и железа	Плотные фосфатизированные карбонатные породы, почечные корки, рыхлые глинистые фосфориты с обломками фосфатизированных карбонатов	До 40; мелкие м-ния и проявления	Коралловые острова Океании Науру, Ошен [Wagin O. N., 1968]	
Фосфаты кальция и алюминия с примесью фосфатов железа	То же при большей роли рыхлых фосфоритов	До 40; мелкие м-ния и проявления	Лангсбаан (ЮАР); острова Рождества	
Фосфаты алюминия и железа с примесью фосфатов кальция	Преимущественно рыхлые глинистые фосфориты со стяжениями фосфатов и блоками, спемитированными железно- и алюмофосфатами	20-30; мелкие м-ния фосфатных бокситов	Острова Трауира (Атлантический океан), Мальдело (Тихий океан)	

Главная карстовая залежь, заполненная фосфоритовыми рудами и фосфатными глинисто-щебенистыми образованиями, имеет в плане размеры 25—350×1500 м и глубину до 75 м. Выделяется в плане размеры 25—350×1500 м и глубину до 75 м. Выделяется несколько типов фосфоритов: твердые, в том числе пористые, ячеистые и брекчиевые, являющиеся продуктом метасоматического замещения известняков; темно-бурые, микросгустковые, рыхлые или землистые, фосфориты, составляющие основную массу фосфоритовых руд; окремненные фосфориты. Рыхлые или землистые фосфориты имеют желтовато-коричневый цвет и содержат многочисленные в различной степени фосфатизированные обломки известняков самых различных размеров (до нескольких метров в поперечнике). Твердые фосфориты являются богатыми рудами и содержат обычно более 30% P_2O_5 ; в рыхлых фосфоритах содержание P_2O_5 изменяется в более широких пределах (обычно 20—35% P_2O_5). Средний состав фосфоритовых руд месторождения (в %): P_2O_5 24,43; $Fe_2O_3 + Al_2O_3$ 7,9; CaO 45; не растворимый остаток 11 [Занин Ю. Н., 1969]. Запасы фосфоритовых руд 4083 тыс. т.

Фосфориты формации коры выветривания в штате Теннесси, США [Collete W. G., 1968] приурочены к региональной антиклинальной структуре, протягивающейся на юг из штата Огайо через Кентукки в Теннесси, в пределы юго-восточного склона древней Северо-Американской платформы. Они развиты в так называемом Центральном бассейне, который представляет собой депрессию, окруженную поднятым пенепленизированным плато Хайленд Рим. Основные месторождения вторичных фосфоритовых руд приурочены к западному борту этого бассейна, где фосфатные известняки первичных пород были выведены в зону выветривания (предположительно в плиоцене).

Первичный субстрат представлен карбонатными породами среднего — верхнего ордовика, слагающими толщу мощностью 200—300 м и содержащую небольшое количество сланцев. В основании толщи выделяются нефосфатные известняки; выше несогласно располагаются мелководные известняки Бигби и Каннон. Известняки Бигби голубоватые до черных, переполненные обломками раковин, фосфатные; мощность их 9—30 м (в среднем 22 м). Нижняя часть известняков Каннон представлена бесфосфатными разновидностями, верхняя сложена фосфатными известняками с прослоями сланцев. Мощность известняков Каннон обычно 20 м; восточнее, одновременно с уменьшением фосфатности, мощность увеличивается до 60—90 м.

Известняки Бигби и Каннон перекрываются нефосфатной известняково-сланцевой пачкой Катейз мощностью 12—18 м, на которой располагаются известняки Лейперз (верхний ордовик), местами с повышенной фосфатностью. Мощность их 0—30 м. Карбонатная толща среднего — верхнего ордовика перекрывается песчаниками Хардин, в которых отмечены проявления фосфоритов, и сланцами Чаттануга. Залегание всех рассматриваемых пород горизонтальное или с небольшими углами падения.

Фосфориты в штате Теннесси образуются главным образом фосфатных известняков Лейперз. Основная масса фосфатов вана в мелких фосфатных зернах с содержанием P_2O_5 в первичных известняках бах превышает 20%.

В штате Теннесси различают три типа фосфоритов: белые, голубые и синие. Синие фосфориты — продукты выветривания фосфатных пород. Они залегают в виде линзообразных тел. Вследствие высокой чистоты (содержание P_2O_5 18—34%) и обилия залежей синие фосфориты встречаются в больших количествах.

Бурые фосфориты — продукты выветривания известняков Бигби, Каннон и др. Они залегают в виде линзообразных тел. Вследствие высокой чистоты (содержание P_2O_5 18—34%) и обилия залежей синие фосфориты встречаются в больших количествах.

Белые фосфориты — продукты выветривания известняков Бигби, Каннон и др. Они залегают в виде линзообразных тел. Вследствие высокой чистоты (содержание P_2O_5 18—34%) и обилия залежей синие фосфориты встречаются в больших количествах.

Белые фосфориты — продукты выветривания известняков Бигби, Каннон и др. Они залегают в виде линзообразных тел. Вследствие высокой чистоты (содержание P_2O_5 18—34%) и обилия залежей синие фосфориты встречаются в больших количествах.

Распространение бурых фосфоритов по рельефу района. В случае выветривания фосфатных известняков на плато образуются покровные залежи мощностью 1—2 м холмов и возвышенностей в известняках образуются полупокровные залежи мощностью 1—2 м.

По запасам фосфоритовых руд Теннесси в США после Флориды и Западной Австралии занимает третье место. Примером вторичных фосфоритовых месторождений в бассейне р. Теллек

Фосфориты в штате Теннесси образовались за счет выветривания главным образом фосфатных известняков Бигби, Каннон и Лейперз. Основная масса фосфатов в известняках сконцентрирована в мелких фосфатных зернах с гладкой поверхностью. Содержание P_2O_5 в первичных известняках 10—15%, а в отдельных пробах превышает 20%.

В штате Теннесси различают три вида фосфоритов: бурые, белые и синие. Синие фосфориты — это переработанные в морских условиях фосфатные продукты выветривания ордовикских карбонатных пород. Они залегают в девонских песчаниках Хардин в виде линзообразных тел. Вследствие чрезвычайно сильной изменчивости качества (P_2O_5 18—34%) и пространственной невыдержанности залежей синие фосфориты разрабатываются в незначительных количествах.

Бурые фосфориты — главный объект добычи — являются остаточными продуктами выветривания, а также замещения фосфатных известняков Бигби, Каннон и Лейперз и представляют собой нецементированную землистую массу, состоящую из глинистых минералов, кварца, фосфатных зерен, освобожденных при выщелачивании карбонатного материала. Реже встречаются комковатые и плитчатые, иногда цементированные разновидности бурых фосфоритов.

В массе бурых фосфоритов наблюдаются плотные неправильной формы образования, сформировавшиеся в результате замещения известняков фосфатами кальция. Наиболее легко такому замещению подвергаются раковинные известняки. Среднее содержание P_2O_5 в бурых фосфоритах 18—22%, хотя отдельные их блоки могут иметь более высокое качество (до 34% P_2O_5).

Белые фосфориты — плотные породы, подразделяющиеся на разновидности: брекчиевые, слоистые и каменистые с кремнистым скелетом. Они заполняют трещины и полости в карбонатных породах или образуют сложной формы невыдержанные покровные залежи на неровной поверхности карбонатных и сланцевых пород. Невыдержанность по мощности и простиранию, небольшие размеры отдельных тел белых фосфоритов определяют относительно небольшое их значение. В настоящее время белые фосфориты не разрабатываются.

Распространение бурых фосфоритов Теннесси контролируется рельефом района. В случае выхода почти горизонтально лежащих фосфатных известняков на платообразных возвышениях образуются покровные залежи мощностью в несколько метров. На склонах холмов и возвышенностей в местах выхода фосфатных известняков образуются полупокровные и кольцевые залежи, более изменчивые по мощности и качеству, чем покровные.

По запасам фосфоритовых руд Теннесси занимает третье место в США после Флориды и западных штатов.

Примером вторичных фосфоритов, образующихся на смешанном карбонатно-алюмосиликатном субстрате, является Тедекское

сточного Саяна. На этом месторождении вторичные фосфориты связаны с продуктами выветривания, выполняющими карстовую депрессию, развитую на карбонатных породах фосфоритоносной кремнисто-карбонатной формации. Кремнисто-карбонатные породы субстрата прерваны многочисленными дайками среднего — основного состава, а местами перекрыты эффузивами. Сложная по форме карстовая депрессия заполнена продуктами выветривания алюмосиликатных пород при подчиненной роли нерастворимого остатка карбонатов. Общая протяженность депрессии около 9 км; ширина от 100—200 м на флангах до 1,5—1,7 км в центральной части; глубина до 250 м, в среднем около 120—130 м.

Слагают депрессию в основном рыхлые пестроокрашенные пестрообразные продукты выветривания, характеризующиеся разнообразным гранулометрическим и минеральным составом. Это глинистый и песчано-глинистый материал с обломками выветрелых пород разного состава. Фосфоритовые руды в составе продуктов выветривания образуют различные по размерам тела, линейно вытянутые с юго-запада на северо-восток. Суммарная мощность их изменяется от нескольких метров до 120 м, составляя в среднем 35—40 м. Контуры залежей неправильные. Нижняя граница находится в среднем на глубине 110—120 м от поверхности, иногда опускается до 250 м. В центральной части месторождения разрез кремнисто-карбонатного субстрата и рыхлых продуктов выветривания представляется в следующем виде (снизу вверх):

1. Светло-серые, серые и темно-серые доломиты массивной, реже слоистой текстуры с редкими линзовидными прослоями кремнистых пород и известняков.
2. Песчано-глинистые продукты выветривания, в которых наблюдаются залежи вторичных фосфоритовых руд и фосфатизированных пород линзовидной и неправильной формы (продуктивная толща).
3. Рыхлые бесфосфатные или слабо фосфатизированные песчано-глинистые продукты выветривания.
4. Четвертичные покровные отложения, представленные эоловыми лёссовидными суглинками и супесями мощностью от нескольких метров до 60—70 м (в среднем 30—35 м).

Подстилающие доломиты интенсивно закарстованы и имеют сложную поверхность с выступами и провалами, амплитуда которых достигает 150 м и более.

Строение продуктивной толщи сложное. Внутри ее присутствуют различные по форме и размерам участки слабо фосфатных и нефосфатных пород. Распределение фосфора в залежи неравномерное: среди основной массы фосфоритов (P_2O_5 15—20%) встречаются участки богатые, где содержание P_2O_5 увеличивается до 30—35%, и бедные — с 5—7% P_2O_5 . Наиболее высокие концентрации фосфора тяготеют к зоне «эндоконтакта» карста. Центральные части рудной залежи характеризуются более низкими содержаниями фосфора. Выступами доломитов и нефосфатных рыхлых продуктов выветривания залежь вторичных фосфоритов разделя-

ется на две ветви: северо-западная ветвь залежи протягивается на флангах до 700—800 м в центре слежена на протяжении 5 км при фосфоритовых руд 180 млн т 14,14%.

Фосфориты представляют собой материал с различным количеством разной формы и размеров. Классифицируют различают брекчиевые, песчаные, однородные пелитоморфные (валунно-фарфоровидные и др.) разновидности по размерам блоки.

Рыхлые фосфориты представлены глинистым и песчано-глинистым фосфоритом, желтовато-бурая, реже желтого, белого, черного и других окраски разновидности: бесструктурные, мелкозернистые по эффузивам, доломитам и известнякам. Рыхлые фосфориты — основной тип руд на месторождении. Фосфориты по эффузивам подразделяются на месторождения. Они представляют собой продукты выветривания эффузивных пород, обогащенные фосфором в результате фильтрации. Фосфориты по доломитам и известнякам имеют незначительное значение. Рыхлые фосфориты характеризуются содержанием P_2O_5 — в среднем около 14% [Шамкин, 1964].

Фосфор присутствует главным образом в виде фосфатной фазы; в некоторых местах, в частности в центральной части тела, вместе с фосфатами встречаются карбонаты. Источником фосфора являются карбонатные породы верхнего эоцена. В залежи имелись линзы и прослои первичных фосфоритов.

Размещение месторождения определяется факторами, обеспечивающими образование месторождений, с одной стороны, и наличием и образовавшихся месторождений с другой: наличие определенного субстрата, благоприятные геологические условия и тектоническая обстановка коры выветривания. Сохранность фосфоритов обеспечивается благоприятными геологическими условиями, существовавшими в течение длительного периода существования тоносных продуктов выветривания.

Роль субстрата заключается в образовании вторичных фосфоритовых пород с повышенным содержанием фосфора, что определяется геологическими исследованиями.

чные фосфориты
щими карстовую
фосфоритоносной
рбонатные породы
среднего — основ-
зивами. Сложная
тами выветривания
и нерастворимого
рессии около 9 км;
км в центральной
130 м.

строокрашенные пе-
ризирующиеся разно-
составом. Это гли-
мками выветрелых
составе продуктов
м тела, линейно вы-
рная мощность их
оставляя в среднем
нижняя граница на-
поверхности, иногда
месторождения раз-
ных продуктов вы-
(снизу вверх):

ломиты массивной,
ыми прослоями крем-

ания, в которых на-
руд и фосфатизиро-
ормы (продуктивная

тизированные песча-

редставленные золо-
мощностью от не-
5 м).

рстованы и имеют
ми, амплитуда кото-

нутри ее присутст-
и слабо фосфатных и
залежи неравномер-
(P_2O_5 15—20%)

е P_2O_5 увеличивается
более высокие концен-
а» карста. Централь-
более низкими содер-
фосфатных рыхлых
фосфоритов разделя-

ется на две ветви: северо-западную и юго-восточную. Северо-запад-
ная ветвь залежи протягивается на 4,5 км при ширине от 50—100 м
на флангах до 700—800 м в центре. Юго-восточная ветвь залежи про-
слежена на протяжении 5 км при ширине 100—600 м. Общие запасы
фосфоритовых руд 180 млн. т при среднем содержании P_2O_5
14,14%.

Фосфориты представляют собой рыхлый песчано-глинистый ма-
териал с различным количеством каменных обломков разнооб-
разной формы и размеров. Каменные фосфориты, среди которых
различают брекчиевые, песчанистые, кремнистые, алевроитовые и
однородные пелитоморфные (натечные, опаловидные, опоковидные,
фарфоровидные и др.) разновидности, иногда слагают значитель-
ные по размерам блоки.

Рыхлые фосфориты представлены глинистыми, алевро-глини-
стым и песчано-глинистым фосфатным материалом. Окраска их
бурая, желтовато-бурая, реже желтая с пятнами кирпично-крас-
ного, белого, черного и других цветов. Выделяются следующие их
разновидности: бесструктурные фосфориты и фосфориты, разви-
тые по эффузивам, доломитам и дайковым породам. Бесструктур-
ные фосфориты — основной тип промышленных руд на месторож-
дении. Фосфориты по эффузивам также довольно широко развиты
на месторождении. Они представляют собой продукты выветрива-
ния эффузивных пород, обогащенных фосфатами в результате ин-
фильтрации. Фосфориты по доломитам, представленные рыхлым
фосфоритным глинисто-карбонатным материалом, распространены
незначительно. Фосфориты по дайковым породам также имеют
подчиненное значение. Рыхлые фосфориты по сравнению с каме-
нистыми характеризуются несколько меньшими содержаниями
 P_2O_5 — в среднем около 14% [Шмелькова Ю. Ф., 1971].

Фосфор присутствует главным образом в виде фосфатов каль-
ция; в некоторых местах, в частности в верхних горизонтах руд-
ного тела, вместе с фосфатами кальция отмечаются алюмофосфа-
ты. Источником фосфора явились, очевидно, первичнофосфатные
карбонатные породы верхнего протерозоя, в которых, возможно,
имелись линзы и прослои первичных фосфоритов.

Размещение месторождений вторичных фосфоритов контроли-
руется факторами, обеспечивающими возможность образования
месторождений, с одной стороны, и сохранность коры выветрива-
ния и образовавшихся месторождений, с другой. К первым отно-
сятся: наличие определенного субстрата, благоприятные климати-
ческие условия и тектоническая обстановка во время формирова-
ния коры выветривания. Сохранность месторождений от денудации
обеспечивается благоприятными тектоническими и геоморфологи-
ческими условиями, существовавшими после образования фосфа-
тоносных продуктов выветривания.

Роль субстрата заключается в том, что промышленные место-
рождения вторичных фосфоритовых руд формируются только на
породах с повышенным содержанием фосфора. Это подтверждает-
ся геологическими исследованиями, свидетельствующими, что

вторичные фосфориты нигде не накапливаются на субстрате с кларковым содержанием P_2O_5 . Наиболее часто они образуются по фосфатным карбонатным или алюмосиликатно-карбонатным породам. При этом минимальное содержание P_2O_5 в карбонатном или алюмосиликатно-карбонатном субстрате, по-видимому, не должно быть менее 0,5—1%. Присутствие даже непромышленных первичных фосфоритов в карбонатном субстрате увеличивает вероятность образования вторичных фосфоритов. Вторичные фосфориты, не связанные с фосфатными биогенными продуктами, на алюмосиликатном субстрате образуются только тогда, когда в исходных породах присутствовали первичные фосфориты (месторождения Тиес и Таиба в Сенегале).

Для некоторых районов юга Западной Сибири установлена положительная корреляция содержаний фосфора в субстрате и коре выветривания. Фосфатные породы карбонатного субстрата могут быть полностью переработаны при образовании вторичных фосфоритов в процессе выветривания. В этом случае в районе месторождения будут распространены породы только с кларковыми содержаниями фосфора, как, например, на Телекском месторождении.

Вторичные фосфориты на существенно карбонатном субстрате локализуются или в отдельных карстовых полостях сложной формы, или в виде плачевидных залежей на неровной поверхности карбонатных пород. Плачевидные залежи чаще развиваются на горизонтально лежащих или полого залегающих карбонатных породах. При этом чем больше мощность исходных пород, тем (при прочих равных условиях) мощнее и протяженнее тела вторичных фосфоритов. При крутом залегании пород субстрата наблюдаются линейно-вытянутые тела вторичных фосфоритов. В случае переслаивания пачек карбонатных и алюмосиликатных пород вторичные фосфориты обычно располагаются по контакту карбонатных пород.

Наиболее крупные месторождения вторичных фосфоритовых руд приурочиваются к областям теплого и жаркого влажного палеоклимата.

Тектонические факторы также определяют размещение месторождений вторичных фосфоритовых руд. Последние тяготеют к зонам повышенной трещиноватости субстрата или к дизъюнктивным нарушениям, в зонах которых процессы выветривания протекали наиболее интенсивно.

Сохранность продуктов коры выветривания, в том числе и фосфатоносных, в значительной степени определяется типом рельефа, который зависит от характера новейших тектонических движений. Наиболее сохраняются продукты выветривания в периферийных участках обрамления впадин, испытавших минимальные поднятия, а также участки относительно выровненной горной области, которые в результате новейших тектонических движений испытали погружение. В областях с аккумулятивными формами рельефа коры выветривания сохраняются под перекрывающими их осадками.

рельефа древняя кора выветривания ставлена в основном линейным типом типа.

В современном рельефе в зависимости выделить определенные гипсометрические выделены различной степенью сохранности выравнивания с остатками выветривания в районах Западной Сибири по абсолютные гипсометрические уровни (А. О., 1968):

1) водораздельные области (абсолютные относительные превышения 500—800 м) практически отсутствуют;

2) области гористых склонов (абсолютные относительные превышения 300—700 м) сохраняются небольшими участками (выветривания в глубоких карстах);

3) области горно-холмистых предгорья (абсолютные высоты 300—600 м, 50—200 м). Широко фиксируются продукты ее переотложения;

4) слабо всхолмленные равнины (абсолютные высоты 200—300 м). Развиты переотложения;

5) равнинные области с отметками выветривания в основном погребены под наносами.

Известные фосфатоносные продукты преимущественно в пределах абсолютных высот. В южных районах Западной Сибири продукты выветривания отличается содержаниями 350—550 м.

Фосфатные продукты выветривания отличаются повышенными (на один-два порядка) содержаниями некоторых микроэлементов. На юге Западной Сибири микроэлементов относятся уран, ванадий, мышьяк, иногда медь. Содержание урана в продуктах выветривания в большинстве случаев до тысячных долей процента, а в некоторых содержат уран в более высоких количествах. Образование коры выветривания при аэрогадметрических условиях происходит в условиях интенсивного излучения космическим фонем в 3—7 мкР/ч [См. также А. О., 1968]. Фосфориты и фосфоритовые руды являются типичными аномалиями, либо группами аномалий с содержанием 10—20 мкР/ч и более, либо единичными аномалиями. Одиночные аномалии могут возникать над вторичными фосфоритами.

отся на субстрате с
сто они образуются по
атно-карбонатным по-
 P_2O_5 в карбонатном
ате, по-видимому, не
даже непромышленных
страте увеличивает ве-
тов. Вторичные фосфо-
ыми продуктами, на
лько тогда, когда в ис-
фосфориты (месторож-

Сибири установлена по-
ора в субстрате и коре
атного субстрата могут
ании вторичных фосфо-
чае в районе месторож-
ко с кларковыми содер-
екском месторождении.
карбонатном субстрате
полостях сложной фор-
нервной поверхности
и чаще развиваются на
ающих карбонатных по-
ходных пород, тем (при
женнее тела вторичных
субстрата наблюдаются
ритов. В случае пере-
ликатных пород вторич-
контакту карбонатных

ричных фосфоритовых
и жаркого влажного

ают размещение место-
оследние тяготеют к зо-
а или к дизъюнктивным
выветривания протекали

ания, в том числе и фос-
деляется типом рельефа,
ектонических движений.
вания в периферийных
минимальные поднятия,
й горной области, кото-
движений испытали по-
формами рельефа коры
ющими их осадками.
удационными формами

рельефа древняя кора выветривания сохраняется локально и пред-
ставлена в основном линейным типом или реликтами площадного
типа.

В современном рельефе в зависимости от его характера можно
выделить определенные гипсометрические уровни, которые отли-
чаются различной степенью сохранности реликтов древних поверх-
ностей выравнивания с остатками коры выветривания. Для юж-
ных районов Западной Сибири по этому признаку выделены следу-
ющие гипсометрические уровни [Казаринов В. П., Смилк-
стын А. О., 1968]:

1) водораздельные области (абсолютные высоты 1200 м и более,
относительные превышения 500—1000 м). Кору выветривания
практически отсутствуют;

2) области гористых склонов (абсолютные высоты 600—1200 м,
относительные превышения 300—700 м). Продукты выветривания
сохраняются небольшими участками (линейные коры, продукты
выветривания в глубоких карстах);

3) области горно-холмистых предгорий и увалов предгорной рав-
нины (абсолютные высоты 300—600 м, относительные превышения
50—200 м). Широко фиксируются все типы коры выветривания и
продукты ее переотложения;

4) слабо всхолмленные равнинные области (абсолютные высо-
ты 200—300 м). Развита переотложенные продукты выветривания;

5) равнинные области с отметками 200 м. Продукты вы-
ветривания в основном погребены под четвертичными отложе-
ниями.

Известные фосфатоносные продукты выветривания встречаются
преимущественно в пределах абсолютных отметок 300—600 м.
В южных районах Западной Сибири наибольшей сохранностью
продуктов выветривания отличается зона с абсолютными отмет-
ками 350—550 м.

Фосфатные продукты выветривания характеризуются повы-
шенными (на один-два порядка против кларка) концентрациями не-
которых микроэлементов. На юге Западной Сибири к числу таких
микроэлементов относятся уран, марганец, кадмий, серебро, цинк,
мышьяк, иногда медь. Содержание урана в фосфатсодержащих
продуктах выветривания в большинстве случаев находится в пре-
делах до тысячных долей процента, а вторичные фосфориты часто
содержат уран в более высоких концентрациях. Фосфатоносные об-
разования в теле формации коры выветривания обычно фиксиру-
ются при аэрогадметрических съемках площадным дифференци-
рованным аэрогамма-полем интенсивностью в 8—13 мкР/ч на об-
щем фоне в 3—7 мкР/ч [Смилкстын А. О., 1968]. Сами вторичные
фосфориты и фосфоритовые руды отмечаются обычно либо локаль-
ными аномалиями, либо группами локальных аномалий интен-
сивностью 10—20 мкР/ч и более, либо одиночными, небольшими по пло-
щади аномалиями. Одиночные аномалии невысокой интенсивности
могут возникать над вторичными фосфоритами и фосфатизирован-
ными породами в условиях плохой обнаженности.

Известны примеры вторичных фосфоритов, которые не отличаются от вмещающих пород по радиоактивности. К ним относятся фосфориты штата Теннесси (США). Однако и в этих случаях радиометрические данные могут принести пользу при прогнозировании и поисках. В частности, фосфатные известняки Лейперз, по которым образуются вторичные фосфориты Теннесси, перекрываются сланцами Чаттануга, характеризующимися повышенными содержаниями урана. Поэтому радиометрические данные здесь используются при выделении перспективных площадей.

Ореолы рассеяния некоторых редких (молибден, ванадий) и цветных металлов (цинк, свинец и др.) интенсивностью в несколько сотых процента характерны для углеродистых кремнистых сланцев, являющихся частыми породными компонентами фосфоритоносных формаций карбонатного ряда, и, таким образом, дают информацию о распространении фосфатного субстрата.

Практикой поисковых работ установлено, что ореолы рассеяния фосфора (с содержаниями 0,3% и выше), выявленные в результате литогеохимического опробования, должны рассматриваться как перспективные. Однако этот геохимический критерий применим лишь с учетом геологических и геоморфологических условий района. В определенной геолого-геоморфологической обстановке даже бедные ореолы рассеяния фосфора (менее 0,3%) в рыхлых отложениях не должны отбраковываться как неперспективные. Так, на участках развития покровных суглинков, мощность которых превышает 5 м, залежи вторичных фосфоритов либо окаймляются ореолами с содержаниями фосфора менее 0,3%, либо не фиксируются. Выявлена обратная зависимость между содержанием фосфора и мощностью покровных отложений, которая контролируется геоморфологическими условиями района и прежде всего гипсометрическим уровнем. Для южных районов Красноярского края по результатам работ на месторождениях и проявлениях фосфоритовых руд коры выветривания (Телекское, Белкинское и др.) можно выделить несколько гипсометрических уровней, отличающихся мощностью четвертичных отложений и содержаниями фосфора в рыхлых отложениях над продуктивными образованиями:

1) в горно-холмистых областях (абсолютные высоты 350—550 м) низкие содержания фосфора (менее 0,3%) в четвертичных отложениях при прочих благоприятных условиях не могут служить основанием для отрицательной прогнозной оценки территории;

2) в гористых областях (абсолютные высоты 550—650 м) лишь высокие содержания фосфора в покровных рыхлых отложениях (мощностью до 4 м) могут указывать на присутствие вторичных фосфоритовых руд.

Закономерности размещения месторождений рассматриваемого типа определяют критерии прогнозирования и поисков (табл. 32).

Методика прогнозных исследований на месторождения фосфоритовых руд формации коры выветривания. Особенности прогнозирования рассматриваемого типа определяются спе-

Прогнозные критерии и поисковые признаки
фосфоритовых руд
развивающихся
и алюмосиликатно-карбонатных

Прогнозные критерии и поисковые признаки	
Стратиграфические	
Литологические	
Климатические	
Палеогеоморфологические	
Тектонические	
Геоморфологические	
Геохимические	

цификой их закономерности. При мелкомасштабном прогнозировании фосфоритовых руд производится определение распространенности групп, а также условий выветривания. При этом учитываются геологические и другие прогнозные критерии.

При средне- и крупномасштабном прогнозировании производится только определение основных критериев, характеризующих субстрата и развития коры

Прогнозные критерии и поисковые признаки месторождений фосфоритовых руд формации коры выветривания, развивающихся на карбонатном и алюмосиликатно-карбонатном первичнофосфатном субстрате

Прогнозные критерии и поисковые признаки	Расшифровка
Стратиграфические	Определенный возраст фосфатных пород субстрата, на котором развиваются вторичные фосфориты. Возраст коры выветривания. Конкретизируются для изучаемого региона
Литологические	Карбонатный или алюмосиликатно-карбонатный состав субстрата
Климатические	Тропический и субтропический, реже умеренный палеоклимат в эпоху образования кор выветривания
Палеогеоморфологические	Наиболее крупные месторождения образуются в условиях выровненной поверхности при минимальной эрозии
Тектонические	Преимущественная локализация месторождений в зонах трещиноватости или разрывных нарушений
Геоморфологические	Сохранность месторождений обеспечивается в условиях слабо расчлененного рельефа в пределах определенного интервала абсолютных отметок, мало отличных для разных районов
Геохимические	<ol style="list-style-type: none"> 1. Повышенное содержание фосфора в субстрате — 1% P_2O_5 и более 2. Наличие ореолов рассеяния фосфора в почвах, водах, растениях 3. Наличие повышенных содержаний марганца, кадмия, цинка, серебра, мышьяка, иногда и других малых элементов в продуктах выветривания 4. Наличие радиоактивных аномалий в продуктах выветривания

фосфоритов, которые не отличаются двойной активностью. К ним относятся (1). Однако и в этих случаях ра-
ности пользу при прогнозировании
не известняки Лейперз, по кото-
ориты Теннесси, перекрываются
ющимися повышенными содер-
трические данные здесь исполь-
ых площадей.
редких (молибден, ванадий) и
др.) интенсивностью в несколь-
для углеродистых кремнистых
ородными компонентами фос-
тного ряда, и, таким образом,
нии фосфатного субстрата.
установлено, что ореолы рассея-
3% и выше), выявленные в ре-
обования, должны рассматри-
ко этот геохимический критерий
ческих и геоморфологических ус-
олого-геоморфологической обста-
яния фосфора (менее 0,3%) в рых-
акновываться как неперспективные.
вных суглинков, мощность кото-
чных фосфоритов либо оконтур-
и фосфора менее 0,3%, либо не
зависимость между содержанием
отложений, которая контролиру-
ями района и прежде всего гип-
ных районов Красноярского края
ждениях и проявлениях фосфори-
елекское, Белкинское и др.) мож-
ических уровней, отличающихся
ний и содержаниями фосфора в
вными образованиями:
х (абсолютные высоты 350—
ра (менее 0,3%) в четвертичных
иятных условиях не могут слу-
ной прогнозной оценки террито-

абсолютные высоты 550—650 м) лишь
покровных рыхлых отложениях
вать на присутствие вторичных
месторождений рассматриваемого
зирования и поисков (табл. 32).
заний на месторождения фосфо-
етривания. Особенности прогнози-
иваемого типа определяются спе-

цификой их закономерностей размещения и прогнозных критериев. При мелкомасштабном прогнозировании выделение перспективных на фосфоритовые руды площадей производится в пределах установленного распространения фосфоритонесных формаций карбонатной группы, а также карбонатитов при развитии на них кор выветривания. При этом учитываются требования геоморфологических и других прогнозных критериев.
При средне- и крупномасштабном прогнозировании, которое производится только в пределах площадей, отвечающих требованиям основных критериев, а именно — при наличии благоприятного субстрата и развитии кор выветривания на нем специфика работ

во многом определяется геоморфологическими критериями, которые вместе с другими критериями являются решающими. Поэтому изучение и анализ материалов производятся с привлечением имеющейся геоморфологической информации. Используются также материалы аэрофотосъемок и производится дешифрирование снимков с целью уточнения геоморфологии, выделения поверхностей выравнивания, зон развития карстов и уточнения положения рудоконтролирующих тектонических нарушений. При полевых исследованиях детализируются данные по литологии и фосфатности субстрата, геоморфологии и площади распространения кор выветривания.

Для отражения специфической информации, помимо определенного общими требованиями набора вспомогательных материалов, при прогнозировании в среднем и крупном масштабах рекомендуется дополнительно составлять две вспомогательные карты: кор выветривания и специализированную геоморфологическую карту.

Карта кор выветривания, на которой отражается информация о составе и фосфатности субстрата, площадях развития, морфологическом, генетическом, геохимическом типах развитых на нем кор выветривания, составляется для среднего масштаба — на основе карты фосфоритоносных формаций субстрата, а для крупного масштаба — на основе литологической карты. Наиболее детально изображаются фосфоритоносные формации карбонатного ряда и алюмосиликатно-карбонатные комплексы пород. Тектонические нарушения, часто являющиеся рудоконтролирующими, целесообразно разделить на региональные и локальные, дорудные и пострудные. Площади установленного и предполагаемого развития кор выветривания показываются контурами с указанием морфологического (площадной, линейный, карстовый), генетического (элювий, продукты ближнего переотложения элювия, переотложенные продукты коры выветривания) и геохимического (латеритный, сиазитный и др.) типов коры выветривания. Геохимический тип коры выветривания дает возможность предопределять возможную минеральную форму фосфатов.

На специализированной геоморфологической карте выделяются поверхности древнего выравнивания, фиксируемые корами выветривания и благоприятные для их сохранности. На карте показываются морфологические (речные долины, склоны, водораздельные пространства) и генетические подразделения рельефа, отражающие этапы регионального денудационного выравнивания, указываются их возраст и гипсометрическое положение, степень сохранности продуктов кор выветривания. Особо выделяются зоны развития карста, а в их пределах — отдельные крупные полости. При наличии аэрофотоснимков использование их при составлении геоморфологической карты обязательно. Степень сохранности реликтов поверхности выравнивания и связанных с ними продуктов коры выветривания зависит от комплекса современных рельефообразующих процессов. В связи с этим на карте ограничиваются от-

дельные ландшафтные зоны, предбы-ступени, выведенные на поверхность тектонических движений. Содержимое остальных вспомогательных графов определяются общими требованиями.

На геохимической карте суммарному фосфору и элементам-индикаторам в рыхлых отложениях, продуктах выветривания, есть данные, в поверхностных водах.

На геофизической карте отражены аэрометрические, геофизические съемки, совмещенные с полями уточняются площади распространения пород.

Все рудоконтролирующие критерии карт выносятся на минеральные карты, показываются контуры фосфоритных комплексов субстрата, площади продуктов коры выветривания, месторождения и проявления фосфоритов, ореолы рассеяния фосфоритовых отложений, радиометрические характеристики рельефа коренных пород, рудоконтролирующие тектонические нарушения, сохранности продуктов выветривания, карстовые депрессии.

Прогнозная оценка, а также прогнозирование в соответствии с общими требованиями.

Методика поисковых работ
руд формации коры выветривания, правильной формой продуктивных, предельным в них фосфора. Элементарную роль горно-буровых работ, в оценке месторождений и рудно-буровыми работами при оценке физических и геохимических месторождений широко применяется в выждаемый геоморфологическими

Рискомендуемые методы при поисках фосфоритовых руд и рудные. В подстадию общих поисков используется аэрогамма-спектрометрия в сочетании с геохимическими маршрутными исследованиями фосфатоносных пород, площадные геофизические исследования в выполнении необходимого объема.

Возможность и целесообразность геохимических и геохимических методов для каждого конкретного участка.

гическими критериями, кото-
ляются решающими. Поэтому
водятся с привлечением имею-
ции. Используются также ма-
тятся дешифрирование снимков
ыделения поверхностей вырав-
очнения положения рудоконт-
тий. При полевых исследова-
тологии и фосфатонности
и распространения кор вывет-

информации, помимо опреде-
ра вспомогательных материа-
и крупном масштабах реко-
две вспомогательные карты:
ованную геоморфологическую

рой отражается информация
ата, площадях развития, мор-
ическом типах развитых на
для среднего масштаба — на
иаций субстрата, а для круп-
ческой карты. Наиболее де-
ые формации карбонатного
комплексы пород. Тектони-
рудоконтролирующими, це-
ые и локальные, дорудные и
и предполагаемого разви-
контурами с указанием мор-
(, карстовый), генетического
жения элювия, переотложен-
геохимического (латеритный,
ивания. Геохимический тип
предопределять возможную

огической карте выделяются
фиксируемые корами вывет-
анности. На карте показыва-
д, склоны, водораздельные
деления рельефа, отража-
нного выравнивания, указы-
положение, степень сохран-
обо выделяются зоны разви-
е крупные полости. При на-
их при составлении геомор-
ень сохранности реликтов
их с ними продуктов коры
современных рельефообра-
карте ограничиваются от-

дельные ландшафтные зоны, представляющие собой крупные глы-
бы-ступени, выведенные на поверхность в результате новейших
тектонических движений. Содержание и методика составления
остальных вспомогательных графических материалов и кадастра
определяются общими требованиями.

На геохимической карте суммируются данные по распределе-
нию фосфора и элементов-индикаторов (марганец, цинк и др.) в
рыхлых отложениях, продуктах выветривания, субстрате и, если
есть данные, в поверхностных водах.

На геофизической карте отражаются данные электроразведоч-
ных, аэрометрических, наземных гамма- и гамма-спектромет-
рических съемок, совмещенные с магнитным полем. По магнитным
полям уточняются площади распространения немагнитных карбо-
натных пород.

Все рудоконтролирующие критерии и признаки с вспомога-
тельных карт выносятся на минерагеническую карту. На этой карте
показываются контуры фосфоритоносных формаций и апатитонос-
ных комплексов субстрата, площади развития фосфатоносных
продуктов коры выветривания (установленные и предполагаемые),
месторождения и проявления фосфатов в субстрате и коре вывет-
ривания, ореолы рассеяния фосфора и элементов-индикаторов в по-
кровных отложениях, радиометрические аномалии, данные ВЭЗ о
характере рельефа коренных пород и мощности рыхлых продуктов,
рудоконтролирующие тектонические нарушения, площади опти-
мальной сохранности продуктов выветривания (реликты древнего
пенеплена, карстовые депрессии).

Прогнозная оценка, а также построение прогнозной карты про-
изводятся в соответствии с общими требованиями.

Методика поисковых работ. Месторождения фосфоритовых
руд формации коры выветривания характеризуются сложной, не-
правильной формой продуктивных залежей и неравномерным рас-
пределением в них фосфора. Эти особенности предопределяют
ведущую роль горно-буровых работ при поисках и предваритель-
ной оценке месторождений и рудопроявлений. В комплексе с гор-
но-буровыми работами при поисках необходимо применение гео-
физических и геохимических методов; как и на другие типы место-
рождений широко применяется метод геологической съемки, сопро-
вождаемый геоморфологическими наблюдениями.

Рекомендуемые методы при поисках месторождений вторичных
фосфоритовых руд и решаемые ими задачи приведены в табл. 33.
В подстадию общих поисков вся изучаемая площадь покрывается
аэрогамма-спектрометрией в комплексе с магнитометрией, а так-
же геологическими маршрутами. На участках предполагаемого
развития фосфатоносных продуктов выветривания проводятся
площадные геофизические и геохимические исследования в сопро-
вождении необходимого объема горных и буровых работ.

Возможность и целесообразность применения радиометриче-
ских и геохимических методов и их модификаций определяются
для каждого конкретного участка с учетом мощности и типа пе-

Методы, рекомендуемые при поисках месторождений
фосфоритовых руд коры выветривания и решаемые ими задачи

Подсгадин поисковых работ		Поисково-оценочные работы
Общие поиски	Детальные поиски	
<p>Аэрогамма-спектрометрия в комплексе с аэромагниторазведкой (1 : 25 000—1 : 50 000) — определение площадей развития фосфатоносных кор выветривания, уточнение границ распространения карбонатных пород</p> <p>Маршрутное литогеохимическое опробование — выявление площадей развития фосфатоносных продуктов выветривания и выходов их на дневную поверхность</p> <p>На выделенных перспективных участках — комплекс методов, рекомендуемый для подстадии детальных поисков, сопровождаемый горными и буровыми работами</p>	<p>Наземная гамма-спектрометрия или радиометрия (на закрытых площадях — эманационная съемка) и литогеохимическое опробование (или фторометрия) по сети 200—400×20—50 м — определение границ развития фосфатоносных продуктов выветривания</p> <p>Высокоточная магниторазведка по сети 100—200×10—20 м — определение границ рудовещающих карстовых полостей</p> <p>Симметричное профилирование — трассирование зон трещиноватости и нарушений</p> <p>Электроразведка ВЭЗ по сети 200—500×20—500 м — определение мощности рыхлых отложений</p> <p>Горнобуровые работы на площадях развития фосфатоносных кор выветривания</p>	<p>Буровые работы по сети 50—200 м×200—500 м — оконтуривание и изучение залежей фосфоритовых руд</p> <p>Нейтронно-активационный каротаж скважин, измерения в горных выработках и на обнажениях — выделение руд, оценка содержаний фосфора</p> <p>Электроразведка ВЭЗ по сети 200—500×200—500 м — определение мощности рыхлых отложений</p>

перекрывающих фосфатоносные образования и фосфоритовые руды отложений. На участках развития мощных перекрывающих отложений вместо радиометрических методов и литогеохимического опробования может быть применена эманационная съемка, обладающая большей глубиной. Кроме решения прямых поисковых задач, этот метод при благоприятных условиях позволяет прослеживать зоны трещиноватости и тектонические нарушения.

Размеры сети наблюдений при поисках (см. табл. 33) уточняются применительно к условиям каждой площади исследования. При проведении поисково-оценочных работ должны быть даны рекомендации о целесообразной плотности горных выработок и

- Алекин О. А., Бражникова Л. В. СССР. М., Наука, 1964. 144 с.
- Алихова Т. Н. Стратиграфия М., Гостеолтехиздат, 1960. 76 с.
- Анкинович С. Г. Нижний Тянь-Шань и западной окраины Изд-во АН КазССР, 1961. 272 с.
- Аристов В. В. Поиски 256 с.
- Атлас литолого-палеогеографическая записка. Л., Наука, 1972. 64 с.
- Билибин Ю. А. Металлогения М., Гостеолтехиздат, 1955. 86 с.
- Блисковский В. З., Мамонтов Д. в фосфоритах.— Геохимия, 1968. № 1
- Борзунов В. М. Геолого-пробы сырья. М., Недра, 1971. 318 с.
- Боровская И. С. Опыт коллективных работ. М., ОЦНТИ ВИЭМС, Экспериментальная и разведки месторождений неметаллических сырья. с. 10—26.
- Борукаев Л. А. Основные черты алма-атинской геологической провинции в Т. I. Алма-Ата, Наука, 1970. с. 174—200
- Браун А., Кэмпбелл К., Крук К. I Зеландии. М., Мир, 1970. 347 с.
- Бугаец А. Н., Дуденко Л. Н. Месторождений полезных ископаемых. М., ВИЭМС, 1973. 39 с.
- Бугаец А. Н., Горбунова Л. Л. и другие системы обработки данных — классификации. — Тезисы семинара «ЭВМ в геологии». Алма-Ата, 1974. 67 с.
- Бушинский Г. И. Литология и геология впадины. М., Изд-во АН СССР, 1954. 3 с.
- Бушинский Г. И. Древние фосфориты. М., Изд-во АН СССР, вып. 149, 1966. 195 с.
- Бушинский Г. И. Формация фосфоритов. М., Изд-во АН СССР, 1969. 104 с.
- Быховер Н. А. Основные принципы геологии. — В кн.: Экономика минеральных ресурсов. М., ВИЭМС, 1971. 39 с.
- Быховер Н. А. Способы оценки ресурсов. М., ВИЭМС, 1973. 39 с.
- Вахромеев Г. С. Основы методики геологических исследований при решении геологических задач. М., Геолгиз, 1975. 40 с.
- Виноградов А. П. Среднее содержание фосфора в породах изверженных горных пород в СССР. М., Геолгиз, 1972. № 2. с. 555—571.
- Волков Р. И., Зайцев Н. С. Углерод в породах Саян. — Сов. геология, 1972. № 2.

месторождений
решаемые ими задачи

Поисково-оценочные
работы

Буровые работы по се-
ти 50—200 м × 200—
500 м — оконтуривание
и изучение залежей фос-
форитовых руд

Нейтронно-активацион-
ный каротаж скважин,
измерения в горных вы-
работках и на обнаже-
ниях — выделение руд,
оценка содержаний фос-
фора

Электроразведка ВЭЗ
по сети 200—500 × 200—
500 м — определение
мощности рыхлых отло-
жений

и фосфоритовые руды
перекрывающих отло-
жительно-геохимического оп-
тимальная съемка, обладаю-
щая прямыми поисковыми
данными позволяет просле-
дить нарушения.

см. табл. 33) уточня-
ющие исследования.
должны быть даны
поисковые работы и

- Алекин О. А., Бражникова Л. В. Сток растворенных веществ с территории СССР. М., Наука, 1964. 144 с.
- Алихова Т. Н. Стратиграфия ордовикских отложений Русской платформы. М., Госгеолтехиздат, 1960. 76 с.
- Анкинович С. Г. Нижний палеозой ванадиеносного бассейна Северного Тянь-Шаня и западной окраины Центрального Казахстана. Ч. 1. Алма-Ата, Изд-во АН КазССР, 1961. 272 с.
- Аристов В. В. Поиски твердых полезных ископаемых. М., Недра, 1975. 256 с.
- Атлас литолого-палеогеографических карт СССР. Краткая объяснительная записка. Л., Наука, 1972. 64 с.
- Билибин Ю. А. Металлогенические провинции и металлогенические эпохи. М., Госгеолтехиздат, 1955. 86 с.
- Блисковский В. З., Минеев Д. А., Холодов В. Н. Акцессорные лантаноиды в фосфоритах. — Геохимия, 1969, № 11, с. 1348—1361.
- Борзунов В. М. Геолого-промышленная оценка месторождений нерудного сырья. М., Недра, 1971. 318 с.
- Боровская И. С. Опыт количественной оценки прогнозных запасов фосфоритов. М., ОЦНТИ ВИЭМС, Экспресс-информация, сер. геол. Методы поисков и разведки месторождений неметаллических полезных ископаемых, 1976, т. 2, с. 10—26.
- Борукаев Л. А. Основные черты палеогеографии и палеотектоники Казах-
станской геологической провинции в докембрии и кембрии. Избранные труды. Т. 1. Алма-Ата, Наука, 1970, с. 174—246.
- Браун А., Кэмпбел К., Крук К. Геологическое развитие Австралии и Новой Зеландии. М., Мир, 1970. 347 с.
- Бугаец А. Н., Дуденко Л. Н. Математические методы при прогнозировании месторождений полезных ископаемых. Л., Недра, 1976. 272 с.
- Бугаец А. Н., Горбунова Л. Л., Подворчан В. И. Математическое обеспече-
ние систем обработки данных — комплекс программ по методам автоматиче-
ской классификации. — Тезисы семинара «Применение математических методов и ЭВМ в геологии». Алма-Ата, 1974. 67 с.
- Бушинский Г. И. Литология меловых отложений Днепровско-Донецкой
впадины. М., Изд-во АН СССР, 1954. 307 с.
- Бушинский Г. И. Древние фосфориты Азии и их генезис. — Труды ГИН
АН СССР, вып. 149, 1966. 195 с.
- Бушинский Г. И. Формация фосфория. — Труды ГИН АН СССР, вып. 201,
1969. 104 с.
- Быховер Н. А. Основные принципы и методы прогноза минеральных ресур-
сов. — В кн.: Экономика минерального сырья и геологоразведочных работ. М.,
ВИЭМС, 1971. 39 с.
- Быховер Н. А. Способы оценки прогнозных запасов твердых полезных иско-
паемых. М., ВИЭМС, 1973. 39 с.
- Вахромеев Г. С. Основы методологии комплексирования геофизических ис-
следований при решении геологических задач. — Автореф. докт. дис. Иркутск,
1975. 40 с.
- Виноградов А. П. Среднее содержание химических элементов в главных ти-
пах изверженных горных пород в земной коре. — Геохимия, 1962, № 7,
с. 555—571.
- Волков Р. И., Зайцев Н. С. Ухагальское месторождение фосфоритов в Вос-
точном Саяне. — Сов. геология, 1972, № 2, с. 94—107.
- Выяснение корреляционной связи между содержанием урана и фосфора в
фосфоритах Удско-Шантарского месторождения/В. И. Варик, В. И. Дрыкин,