

Э. Яковлевичу
Ильин
Соколову
на

АКАДЕМИЯ НАУК СССР
ДЕЛЕНИЕ ГЕОЛОГИИ, ГЕОФИЗИКИ И ГЕОХИМИИ
ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

ПРОБЛЕМЫ ЛИТОЛОГИИ И ГЕОХИМИИ ОСАДОЧНЫХ ПОРОД И РУД

*К 75-летию академика
Николая Михайловича
СТРАХОВА*

(отдельный оттиск)

АКАДЕМИЯ НАУК СССР
ОТДЕЛЕНИЕ ГЕОЛОГИИ, ГЕОФИЗИКИ И ГЕОХИМИИ
ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

ACADEMY OF SCIENCES OF THE USSR
DEPARTMENT OF GEOLOGY, GEOPHYSICS AND GEOCHEMISTRY
ORDER OF THE RED BANNER OF LABOUR
GEOLOGICAL INSTITUTE





Н. Сурасов

ПРОБЛЕМЫ ЛИТОЛОГИИ
И ГЕОХИМИИ
ОСАДОЧНЫХ ПОРОД
И РУД

*К 75-летию академика
Николая Михайловича
СТРАХОВА*

PROBLEMS OF LITOLOGY
AND GEOCHEMISTRY
OF SEDIMENTARY ROCKS
AND ORES

УДК 551.3+551.46+550.4+553.068

*To the 75-th Anniversary
of Academician
N. M. STRAKHOV*

«Nauka», Moscow 1975

В книге показано значение работ академика Н. М. Страхова в развитии советской литологии, геохимии осадочных пород и руд и учения об осадочных полезных ископаемых. Публикуются результаты исследований учеников и товарищей Н. М. Страхова, углубляющие его идеи в различных разделах теории литогенеза. Большое внимание уделяется новейшим достижениям науки в области геохимии, минералогии и генезиса современных осадков морей и океанов. Рассматриваются проблема эволюции питающих провинций в истории Земли, некоторые аспекты учения об угленосных и марганценосных формациях, условия формирования терригенных толщ, поведение глинистых минералов в процессах галогенеза, различные варианты классификации карбонатных пород и многие другие важные вопросы.

Редакционная коллегия:

академик А. В. ПЕЙВЕ
(главный редактор),
П. П. ТИМОФЕЕВ, В. Г. ГЕРБОВА,
В. А. КРАШЕНИННИКОВ,
В. Н. ХОЛОДОВ
(ответственный редактор)

Editorial board:

academician A. V. PEIVE
(editor-in-chief),
P. P. TIMOFEEV, V. G. GERBOVA,
V. A. KRASHENINNIKOV,
V. N. KHOLODOV
(responsible editor)

АКАДЕМИК Н. М. СТРАХОВ — ОСНОВОПОЛОЖНИК ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЛИТОЛОГИИ

НАУЧНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ АКАДЕМИКА Н. М. СТРАХОВА

В. И. Смирнов, П. П. Тимофеев, В. Н. Холодов

I

Выдающийся советский геолог — академик Николай Михайлович Страхов родился 15 апреля 1900 г. в семье учителя в г. Болхове Орловской губернии. В этом же городе после окончания гимназии в 1918 г. он начал свою трудовую деятельность в качестве учителя школы, а затем — преподавателя красноармейских школ.

В 1923 г. Николай Михайлович поступил на геолого-геофизическое отделение физико-математического факультета Московского университета, где в то время преподавали академик А. П. Павлов и профессора А. Д. Архангельский, Г. Ф. Мирчинк, Я. В. Самойлов. Особенно большое влияние на научную судьбу Н. М. Страхова оказали лекции и труды А. Д. Архангельского; под руководством этого выдающегося исследователя Н. М. Страхов сделал свои первые шаги на научном поприще. В 1928 г. он окончил университет, и первые 8 лет в основном занимался преподавательской работой; в Геологоразведочном и Нефтяном московских институтах он вел курсы геологии СССР и исторической геологии.

В 1934 г. Н. М. Страхов стал старшим научным сотрудником ~~Института геологических наук АН СССР~~ (ныне — ГИН АН СССР), а позднее — заведующим Лабораторией геохимии осадочных пород, которым он является и в настоящее время.

На протяжении почти 50 лет Н. М. Страхов работает над теоретическими проблемами литогенеза — науки, изучающей процессы образования осадочных пород и руд. В этой области им было опубликовано около 200 работ, среди них ряд крупных монографий, имеющих основополагающее значение, получивших международное признание и переведенных на английский, французский и японский языки.

Совместно с академиком А. Д. Архангельским Н. М. Страхов много лет изучал современные осадки Черного моря; результатом этих исследований явилась книга «Геологическое строение и история развития Черного моря», увидевшая свет в 1938 г.

В работе рассматривались стратиграфия донных отложений Черноморской впадины, впервые выделялись современные, древнечерноморские и новоэвксинские слои и описывалась эволюция фауны во время отложения этих горизонтов. Были охарактеризованы фациально-петрографические типы современных и древних осадков, установлены их пространственные взаимоотношения на отдельных разрезах, а затем составлена первая карта современных илов Черного моря. Сопоставление этой карты со схемой строения водосборного бассейна Черного моря позволило подробно рассмотреть механизм формирования осадков, уяснить роль гидродинамики в этом процессе, отметить прямое влияние рельефа водосбора на состав и мощность возникающих накоплений. Во второй части монографии на основе большого фактического материала была описана геологическая история Черного моря за послеледниковое время. Это была, пожалуй, самая яркая попытка изложить историю развития морского водоема.

В целом работа дала в руки литологов прекрасный по тому времени пример изучения современного осадконакопления в глубоководном морском водоеме, зараженном сероводородом; впоследствии и сам Н. М. Страхов и многие другие геологи, геохимики и литологи неоднократно обращались к Черноморскому бассейну в поисках решений сложных генетических задач, возникающих при знакомстве с древним литогенезом.

Одним из таких очень сложных вопросов являлась проблема накопления органического вещества и формирования нефтематеринских отложений. В 30—40-х годах Н. М. Страхов посвятил ей ряд статей, а также монографию «Доманиковая фация Южного Урала». Исследование верхнеюрских сланцев зоны *Perisphinctes Panderi*, нижнеартинских черных сланцев р. Юрюзани, а также верхнедевонской доманиковой фации привело Николая Михайловича к представлениям о факторах и условиях накопления органического вещества в осадочных породах, существенно расходившимся с господствовавшими тогда воззрениями А. Д. Архангельского. В отличие от своего учителя, он пришел к мысли, что сероводородное заражение придонных слоев морской воды, хорошо известное по глубоководным участкам Черного моря, практически не влияет на обогащение илов органическим веществом, но может иметь значение для направления процесса разложения органического вещества. Этот вывод прочно вошел в учение о генезисе нефти.

В 1938—1941 гг. Н. М. Страхов выполнил систематическое историко-геологическое исследование месторождений осадочных железных руд. Результаты этой работы были изложены в серии статей (1939—1941), а также в монографии «Железорудные фации и их аналоги в истории Земли», изданной лишь в 1947 г.

В работе прослежено стратиграфическое размещение руд железа, а также марганца и алюминия, установлена периодичность их накопления, приуроченность к поясам влажного и жаркого климата, к низам трансгрессивных серий. Выделялась группа железных руд, связанная с подводным вулканизмом, независимая от климатической зональности. Показано, что руды эти формировались в геосинклинальных областях, в эпохи их интенсивных прогибаний.

Выяснилось, что в течение послепротерозойского времени было 6 крупных и 8—9 мелких железорудных эпох, которые чередовались с эпохами ничтожного накопления осадочных железных руд или вовсе безрудными. Эпохи максимального накопления марганцевых руд и бокситов часто совпадали с железорудными или находились в соседстве с ними на площади или по времени образования (в разрезе). Дано размещение руд по текто-

ническим единицам земной коры. Намечена их эволюция в ходе геологической истории.

Следует подчеркнуть, что значение этой работы далеко выходит за рамки описания железорудного процесса; по существу в ней характеризуются процессы гумидного рудо- и пороодообразования и рассматриваются принципы выделения различных фациальных комплексов. Среди факторов, влияющих на развертывание процессов литогенеза, большое значение отводилось климатическому фактору, роль которого в те времена резко недооценивалась.

В 1948 г. книга «Железорудные фации и их аналоги в истории Земли» была удостоена Государственной премии.

В военные годы Николай Михайлович Страхов изучал геологию кунгурских галогенных отложений Предуральяского прогиба (1941—1944 гг.). Он дал всесторонний литологический анализ очень сложного галогенного комплекса, подробно осветив его стратиграфию, тектонику, литологию и условия формирования.

Наиболее существенным в этой работе следует считать установление смены карбонатных парагенезов в ходе процессов осолонения: кальцитовых вначале, доломитовых на средних ступенях осолонения, магнезитовых — на высоких. Показано, что господствовавшая в то время теория образования доломитов по схеме Гайдингера неверна. Вторым очень важным выводом являлось положение о присутствии в кунгурских толщах двух комплексов малых элементов: мигрирующих в виде растворов и в форме взвесей.

Эти выводы были изложены в монографии «Геология кунгурских отложений Ишимбаевского Приуралья», которая в 1944 г. была защищена в качестве диссертации на степень доктора геолого-минералогических наук.

Разносторонние научные интересы Н. М. Страхова сформировали из него специалиста широкого плана; он хорошо овладел материалом по современным осадкам и по древним породам, глубоко изучил процессы осадочного рудообразования и соленакопления. Его публикации привлекли к себе внимание научной общественности; в 1946 г. Н. М. Страхов был избран членом-корреспондентом Академии наук СССР.

После Великой Отечественной войны Н. М. Страхов с группой сотрудников предпринимает широкие литологические исследования современных осадков Черного, Аральского и Японского морей, озер Байкал, Балхаш, Иссык-Куль и других водоемов СССР. Одновременно изучался химический состав твердого стока рек, впадающих в эти водоемы. Работа завершилась коллективной монографией «Образование осадков в современных водоемах» (1954 г.). Все теоретические главы в ней составлены Николаем Михайловичем. Впервые в науке была нарисована общая схема современного осадкообразования в эпиконтинентальных морях и озерах гумидного и аридного климата, показаны пути и способы питания водоемов осадочным материалом, охарактеризована зависимость форм поступления вещества от климата и тектонического строения водосборов. В работе рассматриваются также процессы механического и химико-биологического осаждения взвешенных и растворенных частиц и их видоизменение в зависимости от типа водоема-концентратора.

Особый интерес представляют относящиеся к этому же времени работы Николая Михайловича по диагенезу осадков. Он впервые показал огромную роль диагенеза как минералообразующего процесса, описал его важнейшие этапы и раскрыл физико-химическую сущность этого явления.

Статья «Диagenез осадков и его значение для осадочного рудообразования» (1953 г.) послужила основой для создания важного раздела общей теории литогенеза и вошла в золотой фонд советской науки.

В 1953 г. Н. М. Страхов был избран действительным членом АН СССР.

Еще в начале 50-х годов внимание Н. М. Страхова привлекают процессы образования современных карбонатных осадков и древних карбонатных пород; организуется большая работа по исследованию их генезиса. Результаты изложены в книге Н. М. Страхова «Известково-доломитовые фации современных и древних водоемов» (1951 г.) и отчасти в уже упомянутой ранее коллективной монографии «Образование осадков в современных водоемах» (1954 г.). Кроме того, под редакцией Н. М. Страхова и при его участии выпущена книга «Типы доломитовых пород и их генезис» (1956 г.). Этими работами установлена тесная связь карбонатакопления с гидрохимическим типом бассейнов (содовым, углекальциевым, углекальциевым) и с эволюцией карбонатных равновесий при осолонении бассейна. Показано, что осаждение CaCO_3 в современных морях происходит главным образом органическим путем, а чисто химические процессы имеют резко подчиненное значение. Доказано наличие доломита только в осадках осолоняющихся водоемов углекальциевого и содового типов при его отсутствии в углекальциевых бассейнах. При этом выяснилось, что садка доломита осуществляется хемогенным путем. Среди современных и древних доломитов Николай Михайлович выделил четыре фациальных типа; кроме того, по стадии образования он предложил различать седиментационные (осажденные из вод палеобассейна) и диагенетические доломиты.

Рассматривая распределение карбонатных осадков в современных морях и океанах, Н. М. Страхов показал, что оно контролируется сочетанием климатических и тектонических факторов, но первые несомненно преобладают. Анализ размещения карбонатных отложений во времени привел к мысли о существовании эпох карбонатакопления и в прошлом, причем стало очевидно, что их возникновение обусловлено замедленными темпами терригенной седиментации в периоды трансгрессий. Кроме того, Н. М. Страховым было показано, что вся история доломитообразования, со времени протерозоя, есть история постепенного затухания процесса с постепенным вытеснением метасоматическими доломитами доломитов пластовых. В оценке разобранных работ Н. М. Страхова можно полностью согласиться с И. В. Хворовой, которая писала, что монография по известково-доломитовым фациям по существу — энциклопедия наших знаний по вопросам карбонатаобразования, настольная книга литологов, в особенности тех, кто имеет дело с карбонатными породами.

Большое значение в творчестве Н. М. Страхова имели исследования геохимии нефтеносных и угленосных толщ; в результате изучения палеозойских отложений Кузбасса, Караганды, Донбасса, Подмосковья и Приуралья им совместно с сотрудниками были написаны две книги: «К геохимии и литологии палеозойских осадочных пород» (1955 г.) и «Очерки геохимии верхнепалеозойских отложений гумидного типа» (1959 г.).

В первой монографии охарактеризованы литолого-петрографические и фациальные особенности нижнефранских нефтеносных отложений Приуралья. Показаны важнейшие закономерности распределения битумов, проведено сопоставление состава битумов, рассеянных в породах, и состава нефтей, выделены нефтеобразующие и битумообразующие свиты. Изучено распределение Fe, Mn, V, Cr, Ni и Co, а также ряда других элементов по типам пород и показано, что главными факторами, определяющими пове-

дение элементов на фациальном профиле, являются формы их миграции, вырабатываемые при выветривании пород водосборов.

Вторая работа была выполнена как сравнительно-геохимическое исследование; наряду с франскими нефтеносными отложениями Приуралья химически изучены верхнепалеозойские угленосные толщи Донбасса, Кузбасса, Карагандинского бассейна и Подмосковья. В этом исследовании Н. М. Страховым с сотрудниками была разработана методика фациально-геохимического анализа, установлены основные геохимические закономерности седиментогенеза и диагенеза осадков гумидных зон и показаны принципиальные отличия осадочной геохимии от геохимии магматических пород. Так как эти исследования обосновывают совершенно новое направление в литологии — геохимию осадочных пород и руд, мы в дальнейшем еще остановимся на них более подробно.

В 1954 г. при активном участии Н. М. Страхова и В. С. Яблокова была организована Комиссия по осадочным породам при Отделении наук о Земле АН СССР. Комиссия развернула обширную деятельность; в ней в полной мере проявились способности Николая Михайловича выдвигать наиболее важные и злободневные научные проблемы для обсуждения, четко формулировать очередные задачи и методы их решения, живо и увлекательно преподносить обсуждаемый материал. Семинары Комиссии привлекали много слушателей и пользовались большой популярностью. Комиссия провела ряд всесоюзных литологических совещаний, на которых обсуждались различные проблемы теории литогенеза.

В соответствии с Постановлением правительства от 17 мая 1954 г. о создании руководства по изучению осадочных пород при геологическом картировании большим коллективом авторов, возглавляемым Н. М. Страховым, было подготовлено к печати двухтомное издание «Методы изучения осадочных пород». В этой книге были даны рекомендации для полевых наблюдений над осадочными породами и рудами, описаны лабораторные методы минералого-петрографического, химического, спектрографического, люминесцентно-битуминологического и фотометрического анализа осадочных отложений, охарактеризованы важнейшие типы осадочных пород и руд, сведены воедино рекомендации для производства фациального анализа и разобраны различные способы корреляции разрезов. Книга стала незаменимым пособием для геологов-практиков; она получила высокую оценку геологической общественности и была переведена на французский язык.

В 1963 г. Н. М. Страхов совместно с В. С. Яблоковым организовал издание журнала «Литология и полезные ископаемые» и до 1969 г. являлся его главным редактором.

В 1960—1962 гг. Н. М. Страхов выпускает в свет трехтомную монографию «Основы теории литогенеза» — произведение, в котором подведен итог работы предыдущих лет, обобщен огромный материал, накопленный советскими и зарубежными литологами, сделаны важные выводы и прогнозы. В ней была обоснована идея о четырех типах литогенеза (гумидном, аридном, ледовом и вулканогенно-осадочном), прослежена их эволюция в постальпийское время, очерчена литолого-геохимическая специфика гумидного и аридного осадочного процесса, а также осадочного рудообразования, разработана и углублена теория диагенеза и галогенеза. Ниже мы еще вернемся к более детальному анализу этой монографии, здесь же отметим, что за эту классическую работу Н. М. Страхову была присуждена Ленинская премия. Все три тома этой книги переизданы в США на английском языке.

Своеобразным дополнением к трехтомной монографии является учебное руководство Н. М. Страхова «Типы литогенеза и их эволюция в истории Земли» (1963 г.). В ней особенно большое внимание уделяется вулканогенно-осадочному типу литогенеза, а также эволюции процессов осадочного породообразования в истории нашей планеты. Этот труд был переведен на японский язык.

В последующее пятилетие Н. М. Страхов с коллективом сотрудников предпринимает широкое исследование литологии и геохимии осадочных марганцеворудных месторождений, причем особое внимание исследователей привлекают олигоценовые марганцевые руды юга СССР (Никопольское, Чиатурское, Мангышлакское, Лабинское и др.) и их современные аналоги — железо-марганцевые конкреции озер Фенно-Скандии, Балтийского и Черного морей, а также Тихого, Индийского и Атлантического океанов. Кроме того, для сравнения был привлечен материал, характеризующий девонские вулканогенно-осадочные руды Джапминской мульды, Караджала и месторождений сходного типа.

Работа завершилась публикацией коллективной монографии «Геохимия осадочного марганцеворудного процесса» (1968 г.). В ней описываются фациально-палеогеографические особенности залегания разнотипных марганцевых скоплений, их минералогическая зональность, пространственное распределение в рудах элементов-примесей. Устанавливается стадийность возникновения рудных минералов и связанных с ними ассоциаций элементов-примесей и предлагается вероятная схема рудогенеза.

Монография особенно интересна в методическом отношении; в ней на фактическом материале демонстрируются возможности фациально-геохимического анализа и делается попытка найти объективные критерии, позволяющие различать вулканогенные и осадочные образования.

В конце 60-х годов Н. М. Страхов много работал над проблемами методологии науки. Будучи горячим сторонником сравнительно-литологического метода и эмпирического подхода к решению научных задач, Николай Михайлович изучил вопрос о том, как зарождался этот метод в работах советских и зарубежных ученых и что он дал для современного понимания литогенеза. Результаты изложены в книге «Развитие литогенетических идей в России и СССР» (1971 г.). В ней хорошо показана смена господствовавших концепций осадочного породообразования за истекшее столетие (гидрохимическая, седиментационно-биогенная, физико-химическая и сравнительно-литологическая) и возрастающая «химизация» учения об осадочном породообразовании. Работа содержит критический обзор предшествующих исследований и направлена на утверждение и пропаганду сравнительно-литологических исследований.

В последние годы Н. М. Страхов с коллективом сотрудников Геологического института и Института океанологии АН СССР им. П. П. Ширшова успешно работает над проблемой геохимии современных морских и океанических осадков. Одна за другой выходят статьи Николая Михайловича, посвященные распределению химических элементов в осадках Тихого океана, поведению элементов в широтном геохимическом профиле от берегов Японии к Гавайским островам, количественной оценке роли эксгалаций на срединно-океанических хребтах как поставщиков рудных компонентов.

Каждая новая статья Н. М. Страхова воспринимается с живейшим интересом, так как в них неизменно освещаются результаты работы большой значимости, ставятся и решаются принципиальные вопросы геологической науки.

До 1970 г. Н. М. Страхов вел большую редакторскую работу. В разные годы он был главным редактором многих выпусков трудов Института геологических наук, а позднее — Геологического института АН СССР, членом главной редакции Большой советской энциклопедии (второе издание), редактором геологического раздела журнала «Доклады АН СССР» по вопросам стратиграфии, тектоники и литологии, главным редактором журнала «Литология и полезные ископаемые», членом редколлегии журнала «Известия АН СССР, серия геологическая».

Значительное внимание уделял Н. М. Страхов подготовке кадров. Хотя он сравнительно недолго читал курсы геологии СССР и исторической геологии в Московском геологоразведочном и в Нефтяном институтах, он создал учебные руководства, которые были лучшими для того времени (30—50-е годы). Кроме того, Н. М. Страхов постоянно руководил аспирантами и докторантами. Его ученики работают во многих геологоразведочных и научно-исследовательских организациях страны, а также преподают в университетах и вузах.

Болезнь заставила Николая Михайловича сократить редакторскую деятельность и отказаться от руководства Комиссией по осадочным породам, а также работами, далекими от интересующей его геологии современных осадков морей и океанов, но каждая его статья, публикуемая в журналах, имеет большое методическо-воспитательное значение.

Лауреат Ленинской и Государственной премий СССР академик Н. М. Страхов принадлежит к числу тех ученых, которые все свои способности и силы отдают развитию советской науки.

Научные заслуги Н. М. Страхова были высоко оценены Советским правительством. Он награжден двумя орденами Ленина (1953, 1970 гг.) и двумя орденами Трудового Красного Знамени (1945, 1960 гг.). В 1967 г. Академия наук СССР присудила ему золотую медаль им. А. П. Карпинского за совокупность геологических исследований.

II

Значение работ Н. М. Страхова в области теоретической литологии нельзя понять вне исторической перспективы. Поэтому, прежде чем говорить о новом, внесенном в науку трудами Н. М. Страхова, следует вернуться к прошлому.

Литология, или наука об осадочных породах, зародилась в начале 20-х годов, когда в 1922 г. М. С. Швецов в I-м Московском университете, а Б. П. Кротов в Казанском университете стали читать факультативные курсы петрографии осадочных пород.

В развитии этой науки отчетливо выделяются два периода. Первый период охватывает время от 20 до 40-х годов; в это время усиленно развивается петрография осадочных пород — один из важных разделов литологии. Одновременно литологи проявляют усиленное внимание к происхождению отдельных типов осадочных пород или отдельных видов полезных ископаемых. Однако объем фактических знаний того времени не позволял еще подойти к построению общей теории осадочного процесса. Только в конце этого этапа, непосредственно перед Великой Отечественной войной, делаются первые попытки обобщения разрозненных и несовершенных данных; они принадлежат Д. В. Наливкину, М. С. Швецову и Л. В. Пустовалову.

В первом варианте книги Д. В. Наливкина «Учение о фациях» (1952 г.) и М. С. Швецова «Петрография осадочных пород» (1934 г.)

представляли собой чисто эмпирические обобщения, выполненные в петрографическом плане. В них суммировалась литолого-петрографическая характеристика различных осадочных пород (песчаников, сланцев, известняков, глин и др.) и на основании текстурно-структурных признаков, а также аналогий с современными осадками описывались фациальные условия их формирования.

Отличие от них, двухтомное учебное руководство Л. В. Пустовалова, также названное автором «Петрография осадочных пород» (1940), содержало некоторые теоретические идеи, направленные на разработку общей схемы осадочного породообразования.

Сущность концепции Л. В. Пустовалова заключалась в том, что возникновение осадочных пород и связанных с ними полезных ископаемых определяется осадочной дифференциацией вещества и периодичностью тектонической жизни Земли.

Осадочная дифференциация вещества протекает механическим и химическим путем. Теория химической дифференциации утверждала, что различие в химических свойствах элементов и закономерное изменение основных физико-химических параметров водной среды в водоемах Земли приводят к некой последовательности выпадения химических соединений.

Ряд дифференциации универсален для всей совокупности водоемов, возникающих на поверхности Земли в определенный момент геологического времени; ни тектонические, ни климатические особенности водоемов не влияют на ход раздельного выпадения компонентов.

Распространяя представление об осадочной дифференциации вещества на объяснение последовательности геологических событий во времени, Л. В. Пустовалов установил «закон периодичности осадкообразования», который он сформулировал следующим образом: «последовательность образования доминирующих типов осадков соответствует схеме осадочной дифференциации вещества и повторяется вновь после каждой мировой геологической революции, составляя большие периоды осадконакопления; на фоне больших периодов могут иметь место малые периоды осадконакопления, имеющие местное значение и связанные с местными проявлениями тектонических сил» (1940, стр. 361).

После выхода в свет «Петрографии осадочных пород» вокруг ее методической основы и важнейших теоретических положений разгорелась многолетняя дискуссия. Научную оппозицию по отношению к этой работе очень скоро возглавил Н. М. Страхов.

В статье «О сравнительно-литологическом направлении и его ближайших задачах» (1945) Н. М. Страхов писал: «Важнейшая актуальная задача литологии осадочных пород заключается сейчас в том, чтобы переработать имеющийся и непрерывно растущий фонд частных факторов в общую теорию осадкообразования, т. е. понять седиментацию как закономерно развивающийся историко-геологический процесс» (Страхов, 1945, стр. 136). Он считал, что построение такого рода теории должно базироваться на изучении современного осадкообразования, сравнительном анализе древних осадочных толщ и физико-химическом эксперименте; такой метод построения теории он назвал сравнительно-литологическим. Позднее Н. М. Страхов подверг критике «закон химической дифференциации» и «закон периодичности осадкообразования» в понимании Л. В. Пустовалова.

В решении I Литологического совещания (17—21 ноября 1952 г.), которое подвело итоги широкого обсуждения теоретических проблем,

было подчеркнуто: «...схема осадочной дифференциации, данная Л. В. Путоваловым в 1940 г., как выяснилось в ходе дискуссии, не показывает изменений хода осадочной дифференциации в геологической истории Земли и в разных климатических и тектонических условиях, а также не учитывает специфической роли организмов в ходе осадкообразования» (Решения Совещания по осадочным породам, 1953, стр. 12).

После Великой Отечественной войны развитие литологии вступило в качественно новую стадию. В результате роста методических возможностей исследования состава осадочных образований возник наконец сплошной фронт работ, охвативший все главнейшие типы пород. Появились многочисленные работы, посвященные генезису современных осадков, железных и марганцевых руд, бокситов, фосфоритов, калийных солей и галогенных формаций, угленосных и нефтеносных толщ, руд меди, свинца, цинка, урана, кремнистых и глинистых отложений, кор выветривания. Широко освещались в литературе проблемы фациально-палеогеографических исследований, закономерностей размещения осадочных полезных ископаемых и эволюции осадочного процесса во времени.

На фоне количественно и качественно возросших работ советских литологов начиная с 50-х годов академик Н. М. Страхов, возглавляющий коллектив сотрудников Геологического института АН СССР, последовательно и целеустремленно развивает различные разделы новой теории литогенеза. Огромное значение имели уже упомянутые выше цикл работ Н. М. Страхова с сотрудниками по современным осадкам морей и океанов, монографии, посвященные карбонатным фациям в современных и древних водоемах, ряд статей, посвященных диагенезу осадков, и исследования, освещающие геохимию нефтяных и угленосных отложений.

К 60-м годам фактический материал, накопленный главным образом в послевоенный период, а также частные теоретические исследования были обобщены Н. М. Страховым в «Основах теории литогенеза» (1960—1962 гг.) и в «Типах литогенеза и их эволюции в истории Земли» (1963 г.).

Центральной идеей новой теории, разработанной Н. М. Страховым, является концепция о четырех типах литогенеза: гумидном, аридном, ледовом и вулканогенно-осадочном. Их возникновение связано с особенностями Земли как планеты и обусловлено глобальной циркуляцией атмосферы и тектонической жизнью литосферы. Главным критерием при выделении современных климатических зон Н. М. Страхов считает сочетание температуры и влажности воздуха. Избыток влаги и высокая температура в экваториальной зоне способствуют распространению в ней типичных гумидных отложений. Наоборот, дефицит влаги в сочетании с высокой температурой поверхности Земли по обе стороны от экватора определяет возникновение здесь зон аридного климата. В высоких широтах северного и южного полушарий, там, где среднегодовая температура ниже нуля, постоянно распространены снег и лед; здесь преобладает особый тип осадочного процесса, получивший название ледового типа литогенеза. Интразонально, резко нарушая границы климатических зон в тех участках, где тектоническая активность литосферы особенно велика и сопровождается вулканической деятельностью, возникает вулканогенно-осадочный тип литогенеза.

Существование трех зональных и одного интразонального типа осадочного процесса очень четко выявляется при изучении *современного* литогенеза. Однако систематизация огромного количества фактов, выполненная Николаем Михайловичем, позволила установить, что и в *прошлом*,

на протяжении всей фанерозойской истории Земли, действовал принципиально тот же механизм осадочных и вулканогенно-осадочных процессов и отчетливо выделяются те же четыре зоны качественно различного породообразования. При этом россыпи, рудные скопления железа, марганца, алюминия и угленосные отложения являются индикаторами древних гумидных зон, а месторождения $\text{Cu} - \text{Pb} - \text{Zn}$ и галогенные отложения служат показателями аридного породообразования.

На 12 палеогеографических картах мира шаг за шагом Н. М. Страхову удалось проследить локализацию типов литогенеза во времени от современного момента до кембрия. Во всех рассмотренных случаях карты позволили обнаружить две полосы аридного литогенеза, разделенные зоной ярко выраженного гумидного.

Карты типов литогенеза, составленные Николаем Михайловичем, ценны тем, что на них отчетливо видны площади возможного рудообразования, а следовательно, и возможного нахождения осадочных или вулканогенно-осадочных руд в отложениях определенных геологических периодов. Новая методика составления палеоклиматических карт, разработанная Н. М. Страховым, является в то же время *теоретической основой для прогноза распространения осадочных полезных ископаемых.*

Изучение каждого из четырех выделенных типов литогенеза позволило Н. М. Страхову обнаружить ряд новых закономерностей, ранее неизвестных геологам, и дать им объяснение, хорошо увязанное с общей схемой. Особенно выпукло в «Основах теории литогенеза» оказалась очерченная картина гумидного литогенеза.

Николаем Михайловичем заново было создано учение о формах миграции элементов. Оказалось, что лишь немногие, легкорастворимые элементы мигрируют в реках в виде растворов; подавляющее большинство переносится главным образом в форме взвеси, причем, чем менее растворимы в воде соединения элементов, тем больше роль взвеси в их миграции.

Соотношение между взвесями и растворами в водах рек в значительной мере регулируется соотношением механической и химической денудации на водосборах. В пределах общей водосборной площади гумидных бассейнов и механическая и химическая денудация в условиях однотипного рельефа меняется симбатно: они усиливаются по направлению к тропикам, но ослабевают к полюсам. Однако амплитуда изменения механической денудации гораздо больше амплитуды денудации химической.

При усилении расчлененности рельефа одновременно усиливается и механическая и химическая денудация водосборов, но первая все-таки гораздо сильнее второй.

Н. М. Страховым было установлено влияние размеров водоемов на разные стороны процессов седиментации, совершающихся в нем. Показано, что в ряду: малые озера \rightarrow большие озера \rightarrow внутриконтинентальные моря \rightarrow краевые моря \rightarrow океаны отношение площадей водосбора к величине акватории непрерывно убывает, а это приводит, с одной стороны, к уменьшению скорости седиментации в каждом более крупном бассейне и к росту тонкозернистости осадков в этом ряду — с другой. Так как именно с тонкими взвесями связана миграция наиболее подвижных малых элементов, таких, как Mo , Ni , Cu , Co , Zn , а также Mn , то их содержание достигает максимума в шлах современных океанов.

На основе знания форм осаждения компонентов из морской воды и данных по составу иловых вод Н. М. Страховым были выяснены конкретные черты процесса уравнивания осадков как физико-химиче-

ской системы, т. е. разработана схема *диагенеза* осадков водоемов гумидных зон. В диагенетической стадии был выделен ряд этапов: окислительного процесса, восстановительного минералообразования и перераспределения аутигенных минералов.

Изучение древнего гумидного литогенеза позволило Н. М. Страхову построить обычную теорию гумидного рудообразования, центральной идеей которой является зависимость осадочного рудообразования от пяти главных факторов: интенсивности химической или биогенной садки рудного компонента, гидродинамического режима и палеогеографии района, разбавления рудного вещества нерудным материалом, влияния диагенетического перераспределения вещества и перемыва рудного пласта. Если все пять факторов действуют согласно в аккумуляирующем направлении, то рудообразование достигает максимальной силы. Наоборот, при разном в их деятельности влиянии одного из них гасится влиянием другого и рудообразование приобретает эмбриональный характер.

Характеризуя процессы аридного литогенеза, Н. М. Страхов подчеркивает, что основная его особенность заключается в том, что породообразование происходит главным образом за счет аллохтонного материала, который поступает из соседних гумидных зон. Другая своеобразная черта аридных процессов заключается в их стадийности. Им выделены в аридном литогенезе две стадии: начальная, когда соленость водоемов еще не отличается существенно от солености водоемов гумидных зон, и галогенная, когда соленость в них становится повышенной, значительной и очень большой и происходит садка легкорастворимых солей. Для начальной стадии типично образование рудных скоплений триады $\text{Cu} - \text{Pb} - \text{Zn}$, резкое усиление фосфатонакопления, а также доломитообразования и широкое развитие магниевых глинистых минералов. Для поздней стадии аридного литогенеза характерно образование галогенных толщ, в которых с повышением солености отлагаются все более растворимые соединения ряда гипс-галит-калишныи и магниевые сульфаты и хлориды.

При этом значительное поступление CaCO_3 и глинистых минералов с речными водами лишает рану сульфатов магнезия и способствует формированию бессульфатной ветви калиевых месторождений. При отсутствии речного вноса сульфаты сохраняются и возникает сульфатная ветвь K-Na-Mg солей. В целом если в гумидном типе литогенеза биос играет огромную роль, то в аридном он далеко отодвинут на второй план.

Существенное значение в работе имеет классификация физико-географических типов осолоняющихся водоемов и отсюда — галогенных формаций. Выделены четыре типа: лагунные бассейны, дающие обычно мало-мощные и неполноразвитые галогенные формации; заливные бассейны — типа Кара-Богаз-Гола и Боксиде-Вирила, образующие более мощные и развитые формации (до Na-K солей); краевые зоны эпиконтинентальных морей, где возникают огромные по площади и полноразвитые галогенные формации (кембрий Сибирской платформы); колоссальные внутриконтинентальные моря типа цехштейна Германии и кунгура в верхней перми Русской платформы, включая бассейны с боратами, бишофитами и другими образованиями эвтонической стадии. Даны детальное описание и анализ этих формаций, их связь с основными тектоническими структурами земной коры и с тектоническим режимом засоленных водоемов.

Существенное место в теории литогенетических процессов Н. М. Страхова занимает характеристика вулканогенно-осадочного типа литогенеза. По особенностям взаимодействия эффузивного и осадочного начала предложено различать наземный и подводный вулканизм. С наземным вул-

анизмом в гумидных областях связаны накопления Fe — Al — Mn, серы, кремнезема, карбонатов кальция и бора, тогда как в аридных районах к нему тяготеют концентрации бора, лития, вольфрама, стронция, марганца, кремнезема и соды. Влияние климата при подводном вулканизме резко падает; с ним ассоциируются руды железа, марганца, кремнезема, Cu — Pb — Zn и фосфатов. Сравнительные подсчеты количества вулканогенного и осадочного материала показывают, что в целом роль вулканизма довольно второстепенна; Н. М. Страхов утверждает, что за счет выноса из земных глубин в постальгонское время возникло только 20—25% всей массы осадков.

Систематический анализ поведения четырех типов литогенетических процессов во времени позволил Н. М. Страхову нарисовать общую картину эволюции осадочного породообразования. Шаг за шагом рассматривая поведение руд железа, марганца и алюминия, угленосных отложений, известковых и кремнистых пород, фосфоритов, доломитов, галогенных образований и эффузивно-осадочных накоплений в различные моменты геологической жизни планеты, Н. М. Страхов воссоздал историю развития внешних геосфер Земли. Были охарактеризованы направленные изменения состава атмосферы, гидросферы и биосферы, имевшие место от архея до четвертичного времени. Показано, что газовый состав атмосферы закономерно менялся от преобладания аммиака, метана и углекислоты до существенно углекислого и далее — к кислородному; соответственно кислые хлориды воды, распространенные в древнейших палеоводоемах прошлого, постепенно уступили место все менее кислым хлориднокарбонатным, хлориднокарбонатносульфатным и, наконец, щелочным хлоридносульфатным. Отмечены важнейшие хронологические рубежи в появлении и развитии живого вещества, от момента зарождения жизни (4,5—5,0 млрд. лет) до зарождения фотосинтеза (~3,0 млрд. лет) и перехода биоса на сушу (0,5 млрд. лет), и разобрано влияние организмов на процессы осадочного породообразования на каждом этапе развития биосферы.

На фоне общей и необратимой эволюции Н. М. Страхов проанализировал периодичность осадочного породообразования и разработал учение о связи этой периодичности с эпохами глобальных трансгрессий и регрессий на континентальном блоке. В представлении Н. М. Страхова, элементарный осадочный ритм, состоящий из трансгрессии, эпохи стабильного стояния моря и регрессии, определяет состав формирующихся в это время пород. В первый момент получают распространение грубообломочные породы, пески, руды железа и марганца, фосфориты, бокситы, глауконит. В эпоху стабильного стояния бассейна характерны глины, карбонатные и кремнистые породы. Наконец, периоду регрессии отвечают соли, медистые песчаники, среди железных руд — сидериты. Вновь распространение получают грубообломочные породы.

При этом Н. М. Страхов подчеркивает, что конкретный набор пород в каждой части осадочного ритма в сильнейшей степени зависит от климата, в условиях которого реализуются ритмические тектонические движения. Так как на протяжении постальгонской истории насчитывается 12—13 волн трансгрессий и регрессий, то можно определенно выделять 12—13 историко-геологических этапов осадконакопления на площади континентального блока.

Итак, даже из очень беглого и схематического изложения существа литогенетической теории Н. М. Страхова становится очевидным, что она прежде всего геологически конкретна; в ней показано, что процессы лито-

генеза не универсальны, а характерны лишь для естественных седиментационных областей литосферы. При этом очень важными факторами, влияющими на осадочное породообразование, наряду с тектоникой становятся климат и магматизм. Вторая очень характерная черта теории литогенеза заключается в том, что осадочное породообразование рассматривается в ней как типичный *многостадийный* процесс; «ответственной» за распределение минеральных накоплений на площади водоема становится не одна стадия осаждения, как это предполагалось в предшествующих работах, а также стадии диагенеза, катагенеза, выветривания и метаморфизма. Третья особенность предлагаемой концепции состоит в том, что процесс осадконакопления представляет собой не простое химическое осаждение компонентов, а сложный процесс, в котором наряду с растворами принимают участие коллоиды, механическая взвесь и биос.

Наконец, нельзя не отметить, что периодичность осадочного породообразования была Н. М. Страховым впервые поставлена в связь с изменением площадей континентального блока и рассмотрена на фоне необратимой эволюции состава атмосферы, гидросферы и биосферы в истории Земли.

III

Выше нами показано, как в результате обобщения огромного фактического материала и последовательного применения сравнительно-литологического метода Н. М. Страховым было воздвигнуто стройное здание современной теории осадочного породообразования. Однако значение исследований Николая Михайловича этим далеко не исчерпывается: работы его существенно углубили понимание литологии как науки, способствовали «химизации» литолого-петрографических наблюдений и по существу привели к рождению новой ветви науки — *геохимии осадочных пород и руд*.

Действительно, до 40-х годов осадочные отложения исследовались методами классической геохимии.

В трудах основоположников геохимии — академиков В. И. Вернадского и А. Е. Ферсмана, а также их учеников (Я. В. Самойлова, А. П. Виноградова, Л. В. Пустовалова, а позднее А. Г. Бетехтина, В. В. Щербины, А. А. Саукова и др.) развивались представления об изоморфизме и парагенезисе элементов и минералов, о кларках или средних содержаниях элементов в земной коре и осадочных породах, о рудных концентрациях, месторождениях, поясах и провинциях, о различных оболочках (сферах) Земли и их взаимодействии между собой. Делались попытки проследить историю поведения элементов в различных процессах породо- и рудообразования. очерчивалась роль естественной радиоактивности и живого вещества в геологических явлениях.

Во многих, порой очень интересных и ярких, работах осадочные породы и руды выступали наряду с магматическими или метаморфическими образованиями как объект обычных минералого-геохимических наблюдений; между всеми этими объектами геохимии не делалось принципиальных различий, они рассматривались как закономерное сочетание элементов или минералов, возникшее в результате определенных *химических* реакций. Главная задача, которую решали *геохимия* и тесно связанная с ней генетическая минералогия, заключалась в том, чтобы, зная конечный результат реакции (минерал, сочетание минералов, концентрация элементов и др.), восстановить ее течение в природных условиях.

Поиски обязательных химических причин минералообразования стали важнейшей задачей классической геохимии; в области изучения осадочного процесса они привели к господству физико-химических концепций, таких, как теория стадийности элювиального процесса Б. Б. Полынова, представление о геохимических фациях Л. В. Пустовалова, теория доломитообразования Б. П. Кротова. В конечном счете и «теория химической дифференциации» Л. В. Пустовалова представляла собой попытку объяснить осадочный процесс исходя из гипотезы, что он представляет собой не более чем сочетание разнообразных физико-химических реакций. Существо очень распространенного в 40—50-х годах геохимического подхода удачно выразили А. Н. Заварицкий (1944), а позднее А. Г. Бетехтин (1952): «...таким образом, основной геохимический закон, ставший теперь почти аксиомой... можно сформулировать так: нахождение химических элементов в земной коре зависит от строения атомов этих элементов» (стр. 9) (разрядка наша — В. С., П. Т., В. Х.).

Очевидно, что такая установка настраивала в первую очередь на исследование химических свойств элементов, радиусов ионов, изоморфизма и прочих явлений, определяемых оболочками ядра, а во-вторую — на изучение физико-химических особенностей среды минералообразования (Еh, рН, солености, концентрации различных ионов и пр.). Молчаливо предполагалось при этом, что минеральный состав породы (в том числе и породы осадочного генезиса) представляет собой отражение той геохимической обстановки, в которой он был сформирован; для осадочных пород он отражал физико-химические особенности водной массы палеоводоема.

В послевоенные годы в области литологических исследований произошли существенные сдвиги, в том числе резко возрос интерес к химическому составу современных осадков, осадочных пород и руд. В результате заметного роста методической базы в геохимическое изучение оказались вовлечены кроме порообразующих элементов (Si, Al, Ca, Mg, Na, K, Fe) еще и микроэлементы (V, Cr, Co, Ni, Mo, Pb, Zn, U и др.), которые неуловимы обычными минералого-петрографическими методами, но могут быть установлены специальными химическими или физическими приемами.

Одновременно появились методические возможности для решения значительно более сложных геохимических задач. Массовый анализ микроэлементов позволил устанавливать закономерности их распределения в разрезе и на площади современных и древних морских водоемов, определять формы их миграции в речных водотоках, рассчитывать абсолютные массы при их выносе из кор выветривания на континентах.

Именно в это время в трудах П. М. Страхова были установлены положения, заставляющие кардинально пересмотреть взгляды на существо и методы геохимических исследований осадочных пород и руд.

В сборнике «Образование осадков в современных водоемах» (1954) Н. М. Страховым было показано, что подавляющее большинство элементов (Fe, Mn, P, V, Cr, Ni, Co, Cu и др.) перемещается в речных водах как в форме раствора, так и механическим путем, в составе взвешенного материала. При этом, чем выше роль растворов в миграции элементов, тем сильнее оказывается относительное обогащение ими пелагической части водоемов по той причине, что продукты химической садки выпадают из раствора в виде частиц минимальных размеров и, естественно, интенсивнее заносятся именно в центральные части бассейнов. Таким образом, аутигенное минералообразование уже на стадии седиментации связано с водной средой морского водоема сложными зависимостями; это

процесс не только *химический*, но и чисто *физический*, определяемый той формой, в которой мигрирует элемент и которая в сущности вырабатывается за пределами бассейна, на континенте.

В монографиях «К геохимии и литологии палеозойских осадочных пород» (1955 г.), а также в «Очерках геохимии верхнепалеозойских отложений гумидного типа» (1959 г.) Н. М. Страхов попытался оценить поведение Fe, Mn, P, V, Cr, Cu, Ni, Co, Ba, Sr, Be, Ga, Pb, Zп, С_{орг} не просто статистическим путем, а изучением их распределения в *литолого-фациальных* профилях, показывающих закономерное изменение осадочных отложений от наиболее мелководной части морского палеоводоёма к глубоководной.

Оказалось, что интенсивность химического выветривания на водосборных площадях и в древних отложениях непосредственно отражается на распределении химических элементов в конечных водоёмах стока; чем интенсивнее разложен исходный материал, тем большую роль в миграции элементов играют истинные растворы, тем в более глубоководные зоны сдвигаются максимумы их накопления и тем более согласованы между собой оказываются кривые распределения разных элементов на профиле.

Таким образом, работами Н. М. Страхова было отчетливо показано, что не простые химические реакции в водоёме, а сложное физико-географическое взаимодействие водосборов и морских водоёмов определяет поведение химических элементов в процессах осадкообразования. Это в корне меняет весь подход к изучению геохимии осадочных образований, делает эту науку методически независимой от геохимии магматических пород и руд, тесно связывает ее с литолого-фациальными исследованиями. *В недрах литологии рождается новая ветвь геологической науки — геохимия осадочных пород и руд, задачей которой является познание истории всей совокупности элементов при формировании осадков, пород и руд.*

Утверждая самостоятельность новой науки, возникшей на рубеже 50—60-х годов, Н. М. Страхов в предисловии к сборнику «Геохимия осадочных пород и руд», вышедшему в свет в 1968 г., писал: «...не подлежит сомнению, что геохимия осадочных пород быстро сумеет доказать свое право на существование в качестве особой ветви геологического знания.

Уверенность в этом создает как важность и специфичность проблем, стоящих перед новой наукой и выходящих за пределы собственно литологии, так и особые методологические установки, отличные от установок классической геохимии.

Не пытаясь здесь перечислять все проблемы, укажу только на две кардинальные, которые однозначно решают вопрос о самостоятельности геохимии осадочных пород как научной дисциплины.

Первой проблемой является геохимия осадочного рудного процесса и соотношение ее с геохимией обычного — кларкового — пороодообразования; второй — специфика вулканогенно-осадочного рудного и кларкового процесса и определение сферы его влияния вокруг вулканических очагов. Едва ли нужно доказывать, что только вовлечение в исследование возможно большего числа химических элементов, а стало быть, и химических методик, а также данные физико-химии и эксперимента способно создать в этой области прочные фактические знания и теорию процесса.

Обе проблемы, как видим, перерастают рамки собственно литологической науки и обособляются в самостоятельную область исследования.

Основные методологические установки новой дисциплины достаточно откристаллизовались уже при выполнении ряда завершённых исследований. Три принципа лежат на основе этой методологии.

Во-первых, разработка кардинальных осадочно-геохимических проблем должна вестись и уже ведется в ряде случаев — путем органического сочетания данных по современному осадко- и рудообразованию и по древним осадочным породам и рудам.

Привлечение к исследованию современного осадочного процесса имеет первостепенное значение, ибо, как показал опыт, только на этих данных можно объективно изучить формы миграции элементов, соотношение между механической и химической денудацией, процессы осадочной дифференциации и распределение элементов внутри бассейнов, связь размеров водоемов с накоплением малых элементов в их пелагических осадках, наконец, геохимию диагенеза. Все эти вопросы, без решения которых невозможна геохимия осадочных пород. Никакое моделирование геохимических явлений в лабораторных условиях не может заменить детального исследования живого, идущего сейчас геохимического процесса (своего рода огромного природного эксперимента), ибо всякое моделирование может быть осуществлено лишь в весьма упрощенных — против природных — условиях. Оно может только помочь проверить некоторые гипотезы и догадки там, где исследование текущего природного процесса не дает однозначных ответов, либо в том случае, когда в современном процессе нет близких аналогий с явлениями, характерными для прошлых геологических периодов.

Во-вторых, геохимическое исследование древних осадочных пород и руд должно вестись на базе предварительного детального петрографического и фациального их изучения, без которого геохимическая работа обесценивается и в лучшем случае может дать материал только для геохимической статистики.

В-третьих, изучение геохимии осадочных пород и руд должно вестись — и ведется на деле — на базе идеи об эволюции геохимических процессов в истории Земли — эволюции, обусловленной необратимым развитием поверхности Земли, атмосферы и биосферы» (стр. 3—4).

К сказанному выше остается лишь добавить, что многочисленные статьи и монографии Н. М. Страхова, увидевшие свет в 70-х годах, продолжают расширять и укреплять геохимию осадочных отложений — самую молодую и бесспорно перспективную ветвь древа геологических наук.

ЛИТЕРАТУРА

- Бегехтин А. Г.* Об основном законе геохимии.— Изв. АН СССР, серия геол., 1952, № 3. Геохимия осадочных пород и руд. М., изд-во «Наука», 1968.
- Заварицкий А. Н.* Введение в петрохимию. М., Изд-во АН СССР, 1944.
- Образование осадков в современных водоемах. М., Изд-во АН СССР, 1954.
- Пустовалова Л. В.* Петрография осадочных пород, т. I—II. М., Гостоптехиздат, 1940.
- Решение Совещания по осадочным породам.— Изв. АН СССР, серия геол., 1953, № 5.
- Страхов Н. М.* О сравнительно-литологическом направлении и его ближайших задачах.— Бюлл. МОИП, отд. геол., 1945, т. 20, № 3-4.