

Отечественная ГЕОЛОГИЯ



Журнал выходит один раз в два месяца

Основан в марте 1933 года

4/2014

Учредители:

Министерство природных ресурсов и
экологии Российской Федерации

Российское геологическое общество

Центральный
научно-исследовательский
геологоразведочный институт
цветных и благородных металлов

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор Г. В. РУЧКИН

Бюро: *В.И.Казанский, А.А.Кременецкий, Г.А.Машиковцев,
Н.В.Милетенко (зам. главного редактора),
Т.М.Папеско (зам. главного редактора),
А.Ю.Розанов, В.И.Старостин*

Редсовет: *Е.М.Аксенов, А.Н.Барышев, Э.К.Буренков
(председатель редсовета), А.И.Варламов,
Г.С.Вартанян, И.Ф.Глумов, А.И.Жамойда,
М.М.Константинов, А.К.Корсаков,
В.С.Круподеров, Н.К.Курбанов, Н.В.Межеловский,
И.Ф.Мигачев, В.С.Сурков, Е.Г.Фаррахов*

МОСКВА

РУДНЫЕ И НЕРУДНЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ		ГЕОЭКОЛОГИЯ	
<i>Митрофанов Н.П., Руднев В.В.</i> Состояние и использование минерально-сырьевой базы вольфрама Российской Федерации	3	<i>Козырева Е.А.</i> Влияние техногенеза на геологическую среду: осо- бенности развития экзогенных геологических про- цессов юга Восточной Сибири	41
<i>Афанасьев В.П.</i> Миграционные свойства индикаторных минералов кимберлитов в связи с прогнозированием месторож- дений алмазов	11	ДИСКУССИИ	
СТРАТИГРАФИЯ, РЕГИОНАЛЬНАЯ ГЕОЛОГИЯ И ТЕКТОНИКА		<i>Иванников В.И.</i> Модель имплозии очага землетрясения	50
<i>Макошин В.И., Кутыгин Р.В.</i> Биостратиграфия и брахиоподы ассельско-сакмар- ских отложений Кубалахского разреза (низовье р.Лена).	17	<i>Воробьев В.Я., Кононов Ю.С.</i> Еще раз о проблемах нефтегазоносности	58
<i>Акулов Н.И., Мащук И.М.</i> Палеоклиматические условия аккумуляции алмазо- носных отложений в позднем палеозое на северо- востоке Ангариды	22	<i>Карпов В.А.</i> О некоторых особенностях связи соле- и нефтегазо- накопления	65
ЛИТОЛОГИЯ, ПЕТРОЛОГИЯ, МИНЕРАЛОГИЯ, ГЕОХИМИЯ		<i>Голоудин Р.И.</i> Рассуждение об организации знания в геологии. . . .	70
<i>Рященко Т.Г., Штельмах С.И., Белянин П.С., Беля- нина Н.И., Леснов С.В., Иванов В.В.</i> Микроструктура и геохимические особенности кай- нозойских отложений долины р.Сооли	31	ИНФОРМАЦИЯ	
		Вышли из печати	74
		Порядок оформления статей, представляемых в жур- нал «Отечественная геология»	75

Редакция: Т.М.Палеско, К.С.Щербакова
Компьютерная верстка Н.П.Кудрявцева

Журнал включен в Реферативный журнал и Базы данных ВИНТИ

Подписано в печать 15.07.2014. Формат 60 88/8. Бумага мелованная.
Печать офсетная.

Адрес редакции: 117545 Москва, Варшавское шоссе, 129 кор. 1
Телефон: 315-28-47. Факс: 313-43-47. E-mail: tsnigri@tsnigri.ru
Сайт научной электронной библиотеки: <http://elibrary.ru>

Типография ФГУП ЦНИГРИ

Состояние и использование минерально-сырьевой базы вольфрама Российской Федерации

Н.П.МИТРОФАНОВ, В.В.РУДНЕВ (Федеральное государственное унитарное предприятие Всероссийский научно-исследовательский институт минерального сырья (ФГУП ВИМС); 119017, г.Москва, Старомонетный пер., д.31)

Месторождения вольфрама расположены в складчатых областях со зрелой континентальной корой. Для них на новой геодинамической основе предложена формационно-генетическая классификация, показаны ее возможности для направления геологоразведочных работ. В части использования минерально-сырьевой базы освещается проблемная ситуация — при значительных запасах вольфрама в недрах, страна является импортнозависимой. Рассматриваются пути решения проблемы.

Ключевые слова: вольфрам, формации, генезис, минерально-сырьевая база.

Митрофанов Николай Павлович, vims-mitrofanov@mail.ru

Руднев Владимир Васильевич, vims-rudnev@mail.ru

Condition and use of mineral resources base of tungsten Russian Federation

N.P.MITROFANOV, V.V.RUDNEV

Tungsten deposit located in the folded areas with mature continental crust. For them on the basis of a new geodynamic proposed formation-genetic classification, showing its ability to guide the exploration. As part of using mineral base illuminated problematic situation — with considerable reserves of tungsten in the depths, the country is importnozavisimoy. The ways to solve the problem.

Key words: tungsten, formation, genesis, mineral resources.

По объему минерально-сырьевой базы вольфрама Россия, после Китая и Казахстана, занимает третье место в мире. В ее состав входит 91 месторождение (50 коренных, 40 россыпных и одно техногенное). Коренные объекты заключают 99% разведанных запасов и обеспечивают 96% добычи. В месторождениях вместе с вольфрамом в промышленных концентрациях часто находятся олово, молибден, медь, в качестве попутных обычно выступают висмут, индий, золото, серебро и другие элементы.

Все промышленные месторождения вольфрама Российской Федерации расположены в пределах складчатых зон (см. рисунок) со зрелой континентальной корой [22]. Природные скопления вольфрама известны в переходной Корякско-Камчатской складчатой зоне. Континентальная кора в ней только формируется и концентрации вольфрама не выходят за рамки рудопроявлений.

Продуктивность оруденения зависит не только от зрелости коры, но и ее возраста. В протерозойской коре Карело-Кольской провинции в пределах Сфекофенского блока известны проявления шеелита, но они представляют минералогический интерес. В палеозойской Уральской провинции появляются небольшие месторождения вольфрама (Бурановское, Коклановское и др.). Более масштабные месторожде-

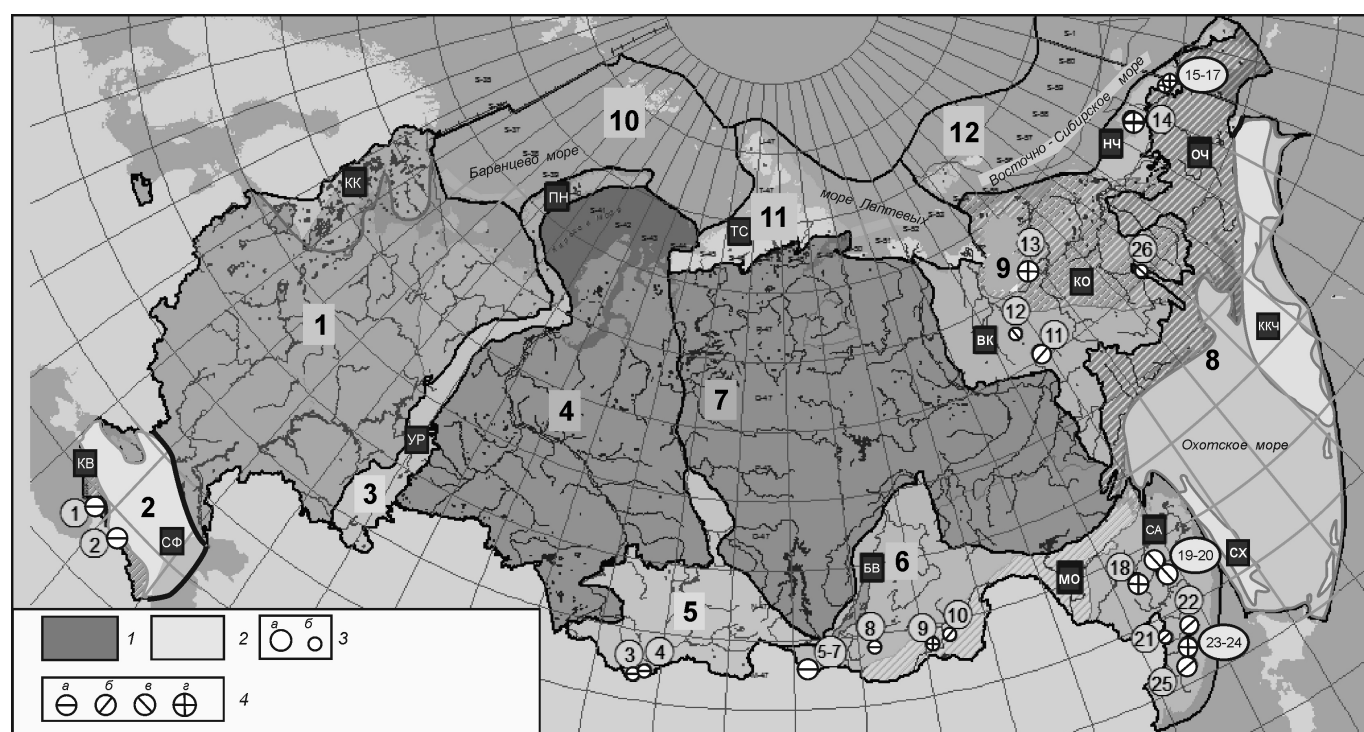
ния наблюдаются на активизированных площадях палеозойского Центрально-Азиатского пояса (Калгута, Урзарсай). Крупные месторождения локализируются в пределах наложенного на него мезозойского Монголо-Охотского складчатого пояса (Инкур, Бугдаинское и др.). Наибольшее число крупных месторождений встречено в мезозоидах Северо-Западного сектора Тихоокеанского подвижного пояса (Агылки, Восток-2, Одинокое и др.). Значительные месторождения могут формироваться и в образованиях древних (протерозой-палеозойских) складчатых зон, но только тогда, когда они претерпели неоднократную тектономагматическую активизацию. Примером может служить альпийский Кавказ, в котором крупное Кти-Тебердинское месторождение вольфрама, расположенное в протерозойском блоке, сформировалось на рубеже палеозоя и мезозоя, а уникальное Тырнаузское месторождение, вмещающее палеозойскими образованиями, — в кайнозое.

Разнообразие в условиях формирования месторождений отображаются в формационных и генетических классификациях. Рудные формации объединяют группы месторождений, характеризующиеся сходством главных рудных элементов (минералов), связанных с определенными геологическими формациями, обуславливающие их закономерное размещение

в тектонических структурах земной коры и место в истории ее развития [18].

Наиболее отвечающими такому определению формаций являются систематизации месторождений вольфрама, разработанные Ф.Р.Апельциным [3] и В.Т.Покаловым [17]. В них авторы выделяют месторождения молибден-вольфрамовой, полиметалльно-вольфрамовой и олово-вольфрамовой рудных формаций. В современных геодинамических и металлогенических трактовках [4, 7, 21 и др.] месторождения **молибден-вольфрамовой** формации тяготеют к зонам аккреции, в которых преобладали палеоокеанические и островодужные образования, отличающиеся повышенным геохимическим присутствием вольфрама и молибдена [1, 9]. Рудогенерация связывается с гранитообразованием, обусловленным коллизионными процессами и, как правило, неоднократно повторяемыми и возобновляемыми в геологической ис-

тории [22]. В результате рудные объекты возникали в широком диапазоне времени от протерозоя до кайнозоя включительно. Месторождения **олово-вольфрамовой** формации находятся в другой геотектонической обстановке — зонах пассивной континентальной окраины, сложенных в основном терригенными породами, снесенными с материков и отложенными в условиях континентального склона и подножья или рифтогенных бассейнах [4, 7, 23 и др.]. В их мощных многокилометровых разрезах нередко отмечаются толщи с повышенными на геохимическом уровне содержаниями вольфрама и олова [3, 12]. Генерация месторождений также осуществлялась коллизионными гранитоидами, но, как правило, одноактно в процессе мезозойско-кайнозойской орогении. Месторождения вольфрама, содержащие большие количества сульфидов и представляющие между названными формациями промежуточное звено, следует



Карта минерагенических провинций (ФГУП «ВСЕГЕИ», 2006) и вольфрамовых месторождений на территории Российской Федерации:

группы минерагенических провинций: 1 — на платформах: 1 — Восточно-Европейско-Печорская, 4 — Западно-Сибирская, 7 — Восточно-Сибирская и 2 — в складчатых поясах: 2 — Северо-Кавказская, 3 — Урало-Пайхой-Новоземельская, 5 — Алтае-Саянская, 6 — Байкало-Амурская, 8 — Дальневосточная, 9 — Верхояно-Колымо-Чукотская, 10 — Западно-Арктическая, 11 — Центрально-Арктическая, 12 — Восточно-Арктическая; буквы в квадратах — названия провинций: КК — Карело-Кольская, КВ — Кавказская, СФ — Скифская, УР — Уральская, ПН — Пайхой-Новоземельская, БВ — Байкало-Витимская, МО — Монголо-Охотская, СА — Сихотэ-Алинская, ВК — Верхояно-Колымская, КО — Колымо-Омолонская, НЧ — Новосибирско-Чукотская, ОЧ — Охотско-Чукотская, ККЧ — Корякско-Камчатская, СХ — Сахалинская; 3 — месторождения вольфрама (упоминаемые в тексте): а — крупные, б — средние и мелкие; 4 — формации месторождений: а — молибден-вольфрамовая, б — полиметалльно-вольфрамовая, в — полиметалльно-вольфрам-оловянная, г — олово-вольфрамовая (вольфрам-оловянная); цифры в кружках — названия месторождений: 1 — Кти-Теберда, 2 — Тырныауз, 3 — Калгута, 4 — Урзарсай, 5 — Инкур, 6 — Холтосон, 7 — Мало-Ойногорское, 8 — Бом-Горхон, 9 — Спокойнинское, 10 — Букука, 11 — Агылки, 12 — Илнтас, 13 — Одинокое, 14 — Крутой (Пыркакайские штокверки), 15 — Иультин, 16 — Светлое, 17 — Тенкергин, 18 — Правоурмийское, 19 — Соболиное, 20 — Фестивальное, 21 — Лермонтовское, 22 — Восток-2, 23 — Тигриное, 24 — Забытое, 25 — Скрытое, 26 — Начальное

разделить на две формации: **полиметалльно-вольфрамовую**, развивающуюся на территориях, в смешанном субстрате которых преобладают океанические образования, и **полиметалльно-вольфрам-оловянную**, где доминируют терригенные отложения, снесенные с материка. В первом случае, происхождение их связывается с коллизионными гранодиорит-гранитными интрузиями, формировавшимися в палеозое-кайнозое, во втором, с субдукционными более пестрыми по составу гранитоидными образованиями окраинноконтинентальных вулканоплутонических поясов, получивших широкое распространение на территории России в мезозое-кайнозое.

Из-за своеобразия геодинамических обстановок в комплексном составе месторождений одной формационной группы ведущие металлы накапливаются в разных количественных взаимоотношениях, что может отображаться в вариациях названий одной и той же формации. Но существует другой аспект в появлении разных названий формации. Еще со времен С.С.Смирнова (1937), в дальнейшем Е.А.Радкевич (1956), С.Ф.Лугов и Б.В.Макеев [10] и другие, занимающиеся изучением месторождений олова, объединяли их в формации по устойчивому парагенезису минерального состава, при этом нередко игнорируя присутствие вольфрамовой минерализации. Эти классификации и сейчас используются для определения формационной принадлежности оловорудных объектов [4]. В результате Иульгинское месторождение причисляется к касситерит-вольфрамит-кварцевой, месторождение Иллитас — касситерит-силикатной, месторождение Фестивальное — касситерит-силикатно-сульфидной формациям. А в систематизации вольфрамовых месторождений Ф.Р.Апельцина все они принадлежат олово-вольфрамовой формации. А.Б.Павловский, заметив разночтение, предложил перейти на обозначение формаций по парагенезису металлов [16]. По его классификации Иульгинское месторождение принадлежит редкометалльно-оловянной, а месторождения Иллитас и Фестивальное полиметалльно-оловянной формации. Своим исследованием он обратил внимание на необходимость систематизировать формации месторождений олова и вольфрама в единой пометалльной градации, которую и рекомендуется использовать в современных разработках.

Генетические классификации указывают на обстановку рудоотложения. Вмещающая среда и физико-химические условия, при которых рудоотложение происходит, в первую очередь, отображается в минеральном составе руд. Лучшую генетическую систематизацию месторождений вольфрама, предложили А.Д.Щеглов и Т.В.Буткевич [24], выделив *пегматитовый, скарновый, грейзеновый и гидротермальный* типы, но рассматривают их в отрыве от формационных. Промышленные месторождения вольфрама *пегматитового* типа на территории России неизвестны.

Не останавливаясь на них, отметим только частую встречаемость рудоносных пегматитов с вольфрамитом и шеелитом во всех редкометалльных провинциях страны. Скарновый тип в представлении авторов публикации следует называть *апоскарновым*, так как предрудное скарнирование пород создает лишь благоприятные условия для рудоотложения [20].

На месторождениях **молибден-вольфрамовой** формации, в зависимости от вещественного состава зон аккреции и условий рудолокализации, выделяются три генетических типа: *апоскарновый, грейзеновый и гидротермальный*. На *апоскарновых* месторождениях, вмещаемых палеоокеаническими и островодужными образованиями (карбонаты, базальтоиды, габброиды, кремнистые и терригенные отложения, в древних блоках — ортометаморфиты), инфльтрационными и пневмато-флюидными процессами формировались руды молибденового и шеелитового минеральных подтипов (месторождения Тырнауз, Мало-Ойногорское и др.). В месторождениях *грейзенового* типа, наиболее тесно ассоциирующихся с гранитоидами, которые развивались в палеозойских аккреционных блоках с небольшой составляющей кальцийсодержащих пород, руды представлены молибденит-гюбнеритовой минерализацией (Калгута). При снижении температуры в тесно связанным с грейзеновым *гидротермальном* типе место молибденита в шеелитовых и гюбнеритовых рудах занимали разнообразные сульфиды (Урзарсай, Инкур, Бом-Горхон).

В районах с месторождениями **олово-вольфрамовой** формации, локализованных в терригенных турбидитах и параметаморфитах, в рудах доминирует оксидная минерализация. Наиболее крупные месторождения с вольфрамитовыми и касситеритовыми рудами образовались при сменяющих друг друга *грейзеновом* и *гидротермальном* рудоотложениях (Одинокое, Правоурмийское, Тигриное и др.). Промышленные месторождения *апоскарновой* генерации для формации не характерны. Природные скопления таких руд редко встречаются в зонах взаимодействия континентальных и океанических блоков, где имеют специфический сульфидно-шеелит-касситеритовый состав и небольшой масштаб (Каньон и др.).

Месторождения **полиметалльно-вольфрамовой и полиметалльно-вольфрам-оловянной** формаций, сопряженные с площадями со смешанным субстратом, более контрастны по минеральному составу руд. *Апоскарновый* тип, в субстрате которого преобладают океанические образования, характеризуется сульфидно-шеелитовым оруденением (Восток-2, Лермонтовское, Скрытое). К этому же типу принадлежат руды месторождения Агылки, локализованные в пласте известняков среди терригенных отложений пришельфовой зоны. Месторождения собственно *грейзенового* типа этих формаций на территории России неизвестны. Если присутствуют выделения такой

минерализации (обычно локализованной в гранитоидах), то они тесно переплетены с основной минерализацией апоскарнового и гидротермального типов оруденения. Природные скопления *гидротермально*-го происхождения наблюдаются как в палеозойских глубоко метаморфизованных и гранитизированных при тектономагматических процессах образования, так и в мезозойских отложениях пассивной континентальной окраины. В первом случае, руды в них представлены сульфидами с вольфрамитом и ферберитом (Букука, Барун-Шивея). В втором, много- и малосульфидными разностями с вольфрамитом и касситеритом (Илинтас, Фестивальное и др.).

Приведенный материал указывает на неразрывную связь формационных и генетических типов месторождений, но каждый тип ответственный за различные особенности рудных объектов. В материале отображена прямая зависимость рудной минерализации от состава субстрата, свидетельствующая о том, что источником рудного вещества месторождений для одних формаций служат вулканогенные и осадочные породы зон аккреции, для других — осадочные отложения зон пассивных континентальных окраин. Развивающееся по ним гранитообразование является лишь механизмом, мобилизующим и концентрирующим рудное вещество в коровых очагах и создающим условия для переноса его в область рудоотложения [13]. Необходимо подчеркнуть, что в широких ареалах развития коллизионных и субдукционных гранитоидов [7], месторождения появляются только там, где в гранитизируемом субстрате присутствуют породы с повышенными относительно кларка геохимическими содержаниями искоемых металлов, которые и служат их источником [1, 12].

Изложенное суммировано в формационно-генетической классификации вольфрамовых месторождений (табл. 1). В ее генетической части показаны температуры кристаллизации шеелита и вольфрамитов, которые изменяются от 600 до 150 °C [8, 15]. Если еще добавить давление от 160 до 20 МПа, при которых происходит выпадение из растворов вольфрамовой минерализации, то встречаемые в научной литературе причисления вольфрамовых месторождений по генезису к «стратиформным» [5, 6], станут неуместными.

Разработанная на геодинамической основе классификация имеет не только научное, но и прикладное значение. Из нее следует: на территории России крупные и уникальные месторождения молибден-вольфрамовой (Тырныауз, Мало-Ойногорское и др.) и полиметалльно-вольфрамовой (Агылки, Восток-2 и др.) формаций имеют апоскарновое происхождение, а содержания триоксида вольфрама в них изменяются от убогих до весьма богатых. Собственно грейзеновые месторождения в полиметалльных формациях отсутствуют, а в других формациях масштабы не превышают средних (Калгута, Спокойнинское). При этом распределе-

ние их по регионам весьма дискретно. В Кавказской провинции они не встречены, в провинциях Сибири обычны, а в Тихоокеанских провинциях, где вольфрам встречается в парагенезисе со значительными концентрациями олова, масштабы объектов по условному вольфраму могут достигать крупных (Одинокое, Правурмийское и др.). Наиболее распространены во всех формациях гидротермальные месторождения. Средние и мелкие объекты отличаются высокими содержаниями триоксида вольфрама (Бом-Горхон, Иультин, Светлое и др.). Крупные же по запасам гидротермальные месторождения во всех формациях (Инкурское, Крутой штокверк, Тигриное и др.) отличаются низкими и убогими содержаниями. В месторождениях молибден-вольфрамовой и полиметалльно-вольфрамовой формаций руды сложены шеелитовой и гюбнеритовой минерализацией при постоянной ассоциации с сульфидами (Кти-Теберда, Калгута, Узарсай, Агылки и др.). В месторождениях полиметалльно-вольфрам-оловянной (Илинтас, Начальное, Фестивальное) и вольфрам-оловянной (Крутой штокверк, Правурмийское, Тигриное) формаций рудные минералы в промышленных телах представлены касситеритом, вольфрамитом с непостоянным присутствием сульфидов.

По состоянию на 01.01.2013 г. в 50 коренных вольфрамовых месторождениях заключено 1 266 952 т разведанных (категория А В С₁) и 301 263 т оцененных (категория С₂) запасов триоксида вольфрама (WO₃). Среднее содержание триоксида в них 0,17%. В эксплуатации в 2012 г. находились четыре собственно вольфрамовых месторождения с содержаниями 0,3—1,71% (Восток-2, Лермонтовское, Спокойнинское и Бом-Горхон), в которых добыто 96,52% общероссийского вольфрамового сырья.

Принятие решений о проектировании и постановке геологоразведочных работ, о вовлечении месторождений в промышленное освоение проводится, в первую очередь, с использованием классификации их промышленных типов. В разработанной Государственной комиссией по запасам полезных ископаемых (ФБУ «ГКЗ») и утвержденной Министерством природных ресурсов и экологии Российской Федерации систематизации промышленных типов вольфрамовых месторождений в основу положены морфологические типы [11]: пластово-линзообразный, штокверковый и жильный. Разделенные по этим типам эксплуатируемые и перспективные для ввода в эксплуатацию месторождения, а также хорошо изученные объекты, которые могут рассматриваться как эталоны, приведены в табл. 2. Месторождения пластово-линзообразного типа представлены, в основном, крупными существенно вольфрамовыми объектами, на которые приходятся 54% запасов WO₃ от общероссийских. Разработка их в 2012 г. велась на двух месторождениях с богатыми содержаниями триоксида вольфрама в рудах (Восток-2, Лермонтовское). Общая добыча составила 3354 т WO₃. Штокверковые

1. Формационно-генетическая классификация вольфрамовых месторождений

Типы										Вмещающие поро- ды; температура рудообразования (t, C)
Формационные										
Генетические	Молибден-вольфрамовый (вольфрам-молибденовый)		Полиметалльно-вольфрамовый и полиме- талльно-вольфрам-оловянный		Олово-вольфрамовый (вольфрам-оловянный)		Месторождения			
	Минеральные подтипы	Месторождения	Минеральные подтипы	Месторождения						
	Апокарновый (кон- тактово- диффузион- ный и инфильтраци- онный пневма- то-флюидный)	Молибденит-шеели- товый	Тырныауз	Сульфидно-шеелито- вый	Агылки, Восток-2, Лермонтовское, Скрытое	Сульфидоно-шее- лит-касситеритовый	Каньон	Карбонаты, базаль- тоиды, кремнистые, терригенные, мета- морфиты; 600—200		
Шеелитовый		Кти-Теберда								
Шеелит-молибдени- товый		Мало-Ойногорское								
Грейзеновый (кон- тактово-метасомати- ческий пневмато- флюидный)	Молибденит-гюбне- ритовый	Калуга	Вольфрамитовый		Вольфрамит-касси- теритовый	Спокойнинское	Гранитоиды, терри- генные, метаморфи- ты; 450—250			
						Одинокое, Правоур- мийское				
Гидротермальный (метасоматичес- ки-гидротермаль- ный)	Сульфидно-шеелито- вый	Урзарсай	Сульфидно-вольфра- мит-ферберитовый	Букука, Барун-Ши- вея	Касситерит-вольфра- митовый	Иульгин, Светлое, Тенкергин	Терригенные, грани- тоиды, метаморфи- ты; 350—150			
	Сульфидно-гюбнери- товый	Бом-Горхон, Холто- сон, Инкур	Сульфидно-вольфра- мит-касситеритовый	Илинтас, Начальное, Фестивальное	Вольфрамит-касси- теритовый	Крутой штокверк, Тигриное, Забытое				
Геодинамическая по- зиция; тип и возраст рудогенерирующих гранитоидов	Зоны аккреции (преимущественно океани- ческие и островодужные образования) и ак- тивизации; коллизонные гранитоиды PR—KZ		Зоны аккреции, активизации пассивной кон- тинентальной окраины; коллизонные и суб- дукционные гранитоиды PZ—KZ		Зоны пассивной континентальной окраины (преимущественно терригенные отложе- ния); коллизонные гранитоиды MZ—KZ		Источник руд (суб- страт корового гра- нитоидного очага)			

месторождения, запасы которых превышают 40% от общероссийских, также обладают крупными запасами вольфрамовых и вольфрам-оловянных руд, но, в основном, характеризуются убогими (сотые доли процента) содержаниями триоксида. Добыча производилась на вольфрамовом среднем по масштабу месторождении Спокойнинское с высокими для штокверков содержаниями 0,3% и составила 1646 т WO₃. Месторождения жильного типа, в которых средние содержания триоксида превышают 0,5%, имеют небольшие запасы WO₃. Извлекли из них 210 т

триоксида, в основном, из месторождения Бом-Горхонское. В целом, из шести отрабатываемых месторождений, включая Барун-Нарынское техногенное месторождение и россыпь ключа Инкур, в 2012 г. добыто 5398 т WO₃.

Запасы триоксида вольфрама в России на начало 1991 г. составляли 1799 тыс.т, годовая добыча превышала 22 тыс.т. С этого периода по настоящее время не было открыто ни одного вольфрамового месторождения, а продолжающаяся добыча уменьшила запасы до 1568 тыс.т WO₃. При оставшихся в недрах запасах

2. Промышленные типы коренных месторождений вольфрама в России

Типы (доля запасов и добычи WO ₃ от общероссийских на 01.01.2013 г.)	Минеральный подтип	Содержание WO ₃ , в %	Месторождения			
			Масштаб	Группа сложности	Названия	
Пластово-линзовообразный (запасы 53,8%, добыча 3354 т — 61,3%)	Молибденит-шеелитовый	0,16	Крупный	II	Тырныауз	
	Шеелитовый	0,36			Кти-Теберда	
	Сульфидно-шеелитовый	1,27			Агылки	
		1,05			Восток-2	
		0,36			Скрытое	
		1,71	Средний		Лермонтовское	
Штокверковый (запасы 40,1%, добыча 1646 т — 30,5%)	Шеелит-молибденитовый	0,04	Крупный		Мало-Ойногорское	
	Сульфидно-шеелитовый	0,11	Средний		Урзарсай	
	Сульфидно-шеелит-гюбнеритовый	0,15	Крупный		Инкур	
	Вольфрамит-касситеритовый	0,02	Крупный*		Крутой штокверк	
		0,03			Одинокое	
		0,03			Правоурмийское	
		0,04			Тигриное	
	Вольфрамитовый	0,37	Средний		Спокойнинское	
	Жильный (и минерализованные зоны) (запасы 3,7%, добыча 222 т — 4,2%)	Молибденит-гюбнеритовый	1,89	Мелкий	III	Калгута
		Сульфидно-ферберитовый	0,62			Букука
Сульфидно-гюбнеритовый		0,93	Средний			Бом-Горхон
		0,75		II	Холтосон	
Сульфидно-вольфрамит-касситеритовый		0,11	Крупный*		II	Фестивальное
		0,64		III		Илинтас
		0,68			Средний	Начальное
Касситерит-вольфрамитовый		1,07	Средний		Иультинское	
		0,64			Светлое	
		2,73	Мелкий		Тенкергин	
		0,79			Забытое	

Примечание. * — масштаб по условному вольфраму.

страна, казалось бы, не должна испытывать дефицита в вольфрамовом сырье. Но изменение форм собственности привели к дисбалансу в его производстве и потреблении. В последние годы производство вольфрамового концентрата в России было на уровне 5—7 тыс.т (в пересчете на WO_3). Из них в 2011 г., по оценкам аналитиков MetalResearch [19], около 2 тыс.т концентрата было отправлено на перерабатывающие заводы «Гидрометаллург» (г.Нальчик) и «Кировградский завод твердых сплавов» (Свердловская область). Остальная часть экспортирована. При этом производственные мощности заводов загружены соответственно на 34 и 62%. В 2012 г. из-за еще большего увеличения экспортных цен на вольфрамовые концентраты (средняя 14 518, против 9094 долларов за тонну в 2010 г.) из произведенных 6917 т концентратов было экспортировано 6214 т, то есть наши предприятия почти остались без российского сырья. Чтобы не останавливать производство, они закупают концентраты на внешних рынках, но уже по средней цене 17 129 долларов за тонну. И самое поразительное, что иногда покупают в тех же странах (Нидерланды), куда наши производители продают. Такая экономика привела к тому, что в 2012 г. в Российской Федерации по неполным данным объемы производства вольфрамосодержащей продукции снизились, а объемы ее закупок в других странах увеличились до 351,8 т, против 140,5 т в 2011 г.

В «золотой век геологии» в стране было разведано и эксплуатировалось много месторождений с крупными запасами. В настоящее время в экономически освоенном **Кавказе** из-за сложных межэтнических отношений между его народами, возобновление работ на месторождении Тырныауз и разработка Кти-Тебердинского вряд ли может осуществиться. В **Бурятии** ЗАО «Твердосплав» владеет правом на пользование недрами законсервированных месторождений Инкур и Холтосон. По проекту рудники должны заработать, а реконструированный Джидинский ГОК выдавать вольфрамовые концентраты в 2017 г. Когда это произойдет в действительности при существующем частном производстве — большой вопрос? В **Забайкальском крае** ООО «Бугдаинский рудник» подготовил к промышленному освоению уникальное молибденовое месторождение. В его рудах подсчитано по категории C_2 202 тыс.т WO_3 , но запасы в перестроечное время были сняты с баланса. Из-за производственных и экономических затруднений начало добычи молибденового сырья на месторождении отложено на неопределенное время. Поэтому получение вольфрама с этого объекта в перспективе не предвидится. В **Приморском крае** обеспеченность запасами эксплуатируемых месторождений Восток-2 и Лермонтовское не превышает 3—6 лет. Приморский ГОК провел доразведку месторождения Скрытое. ГКЗ приняла на баланс крупные запасы триоксида вольфрама. По лицензии начало промышленной добычи на нем планировалось в

2011 г. Прошел 2013 г., сведений о закладке рудника не поступало. Много вольфрам-оловянных месторождений разведано в экономически неосвоенных районах **Якутии** и **Чукотки**. В 2009 г. ООО «Северное олово» выдана лицензия на освоение семи штоковерковых объектов Пырकाкайского рудного узла. Суммарные запасы в них олова 238 тыс.т, триоксида вольфрама 18 тыс.т. Строительство инфраструктуры ГОКа и выход его на проектную мощность, согласно техническому заданию, должно состояться в 2013 г. О результатах своей деятельности недропользователь не сообщает.

Прогнозные ресурсы триоксида вольфрама на 01.01.2014 в Российской Федерации составили 1950 тыс.т. В их структуре доминируют ресурсы категории P_3 1230 тыс.т. Ими оценены, в основном, рудные районы Кукульбейский в Забайкалье, Бикинский, Хорский и др. в Хабаровском крае. По авторским оценкам крупными ресурсами обладает территория Бурятской Республики. Прогнозные ресурсы категории P_2 апробированы в количестве 545 тыс.т. Они находятся в нераспределенном фонде, в котором реальным поисковым заделом (ресурс 40 тыс.т) обладают пять рудных полей: Гремячий Кар на Алтае, Тукулайское в Забайкалье, Синька, Джаур и Чуken в Хабаровском крае. Общие прогнозные ресурсы WO_3 категории P_1 , разбросанные по флангам месторождений, после окончания поисково-оценочных работ на Гетканчикском рудном поле (Еврейская автономная область) увеличились до 160 тыс.т WO_3 . Однако, только 4,5% (22 тыс.т) их находятся в распределенном фонде. В целом, можно констатировать, что на огромных площадях вольфрамоносных провинций страны поисковый задел для постановки работ на вольфрам весьма мал, но и он по ряду причин не используется.

В такой ситуации назрела необходимость искать новые месторождения и, в первую очередь, в освоенных рудных районах или, как их сейчас называют, Центрах экономического роста. Небольшие деньги на цветные металлы Роснедра отпускает. Но ищут их дедовскими методами, нацеленными на обнаружение месторождений, выходящих на поверхность. Еще при Советской власти поисковый задел таких месторождений был истощен, поэтому большинство работ в пределах Центров сейчас заканчивается отбраковкой оцениваемых объектов. Необходимо переходить на поиски скрытых месторождений. Предпосылки для их открытия есть. Металлогенический потенциал многих рудных районов остается огромным. Разработаны новые методы поисков таких месторождений, применимые при осуществлении научно обоснованного локального металлогенического районирования [14]. Они позволяют выделять объемные рудно-магматические системы и проводить в них количественную оценку прогнозных ресурсов. Получаемые результаты могут быть подкреплены современными разработками геохимической томографии, да-

ющими возможность выделять трехмерные аномальные геохимические объекты, определять в них скрытые центры рудолокализации, проводить количественные расчеты прогнозных ресурсов [2]. Для определения и подтверждения контуров таких рудно-магматических систем и аномалий могут быть использованы новейшие методы геофизической томографии (методы трехмерного гравиметрического моделирования), низкочастотного микросейсмического зондирования и др. Такие исследования надо проводить в едином комплексе, сопровождать необходимым объемом бурения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Апельцин Ф.Р.* Промежуточные вольфрамоносные формации докембрия // Проблемы осадочной геологии докембрия. Вып. 7. Кн. 2. —М.: Наука, 1981. С. 167—171.
2. *Бураго А.И., Шлыков С.А., Бураго В.А., Митрофанов Н.П.* Методы геохимической томографии и их использование в практике геологоразведочных работ // Разведка и охрана недр. 2013. № 11. С. 36—41.
3. *Вольфрамовые месторождения, критерии их поисков и оценки* / Под ред. Ф.Р.Апельцина. —М.: Недра, 1980.
4. *Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России: в 2 кн.* / Под. ред. А.И.Ханчука. —Владивосток: Дальнаука, 2006.
5. *Гетманская Т.И., Бороданов В.М., Броницкая В.С., Материкова А.М.* Вольфрамовые руды России: состояние и перспективы развития минерально-сырьевой базы // Минеральное сырье. Серия геолого-экономическая. № 24. —М.: ВИМС, 2008.
6. *Денисенко В.К., Лобков В.Л., Гапошин И.Г., Кутырева М.Ф.* Стратиформные редкометалльные месторождения. —Л.: Недра, 1986.
7. *Зоненшайн Л.П., Кузьмин М.И., Моралев В.М.* Глобальная тектоника, магматизм и металлогения. —М.: Недра, 1976.
8. *Иванова Г.Ф., Наумов В.Б.* Основные параметры гидротермальных растворов, формировавших вольфрамовые месторождения // Геохимия. 1989. № 7. С. 925—935.
9. *Левашов Г.Б., Зарубина Н.В., Волосов А.Г.* Вольфрам и молибден в осадках дна Филиппинского моря // ДАН. 1998. Т. 359. № 6. С. 814—817.
10. *Лугов С.Ф., Макеев Б.В.* Генетическая и промышленная классификация оловорудных месторождений // Советская геология. 1972. № 5. С. 48—60.
11. *Методические рекомендации по применению Классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых. Вольфрамовые руды.* —М.: НПП НАЭН, 2007.
12. *Митрофанов Н.П.* Геодинамика предрудного этапа формирования месторождений олова Северо-Западного сектора Тихоокеанского рудного пояса // Рудные месторождения континентальных окраин. Вып. 2. Ч. 1. —Владивосток: Дальнаука, 2001. С. 104—119.
13. *Митрофанов Н.П.* Геодинамические режимы в Северо-Западном секторе Тихоокеанского рудного пояса на рудном этапе формирования месторождений олова // Тихоокеанская геология. 2005. Т. 24. № 1. С. 59—72.
14. *Митрофанов Н.П.* Металлогеническое районирование: состояние и перспективы // Отечественная геология. 2006. № 3. С. 12—20.
15. *Наумов В.Б., Иванова Г.Ф.* Условия образования вольфрамовых, олово-вольфрамовых и молибден-вольфрамовых месторождений // Основные параметры природных процессов эндогенного рудообразования. Т. 2. —Новосибирск: Наука, 1979. С. 53—62.
16. *Павловский А.Б.* Формационные и геолого-промышленные типы оловорудных месторождений // Отечественная геология. 1993. № 7. С. 41—50.
17. *Покалов В.Т.* Рудно-магматические системы гидротермальных месторождений. —М.: Недра, 1992.
18. *Российская геологическая энциклопедия.* Т. 3 (Р-Я). —М.—СПб: ВСЕГЕИ, 2012.
19. *Российский рынок вольфрама: концентраты, вольфрам и продукция.* Аналитический обзор. —М.: MetalResearch, 2013.
20. *Скарновые месторождения* / Под ред. Д.С.Коржинского. —М.: Наука, 1985.
21. *Схема металлогенического районирования территории России.* Масштаб 1:5 000 000. Объяснительная записка. —М.: МПР РФ, ИМГРЭ, ГЕОКАРТ, 2001.
22. *Тектоника Северной Азии* / Под ред. А.Л.Яншина. —М.: Наука, 1980.
23. *Ханчук А.И.* Палеогеодинамический анализ формирования рудных месторождений Дальнего Востока России // Рудные месторождения континентальных окраин. —Владивосток: Дальнаука, 2000. С. 5—34.
24. *Щеглов А.Д., Буткевич Т.В.* Месторождения вольфрама // Рудные месторождения. Т. 3. —М.: Недра, 1974. С. 170—214.

Миграционные свойства индикаторных минералов кимберлитов в связи с прогнозированием месторождений алмазов

В.П.АФАНАСЬЕВ (Институт геологии и минералогии им.В.С.Соболева (ИГМ) СО РАН; 630090, г.Новосибирск, проспект академика Коптюга, д.3)

Дается характеристика условий формирования ореолов индикаторных минералов кимберлитов с точки зрения поисков месторождений алмазов. Описан цикл седиментогенеза, условия формирования ореолов в континентальных, прибрежно-морских трансгрессивных и регрессивных обстановках, в условиях ингрессии, при переотложении ореолов. Основной вывод: в любых литодинамических обстановках максимальные концентрации индикаторных минералов тяготеют к коренным источникам.

Ключевые слова: индикаторные минералы кимберлитов, цикл седиментогенеза, механический ореол рассеяния, литодинамические условия формирования ореолов, переотложение ореолов.

Афанасьев Валентин Петрович, avp-diamond@mail.ru

Migration properties of kimberlite indicator minerals in view of forecasting of diamond deposits

V.P.AFANASIEV

The formation conditions of kimberlite indicator minerals in terms of diamond deposits prospecting are characterized. The cycle of sedimentogenesis, the formation conditions of halos of continental, littoral transgression and regression settings in the conditions of ingression during the halos redeposition have been described. The principle conclusion is that the maximal concentrations of indicator minerals gravitate towards the primary sources in all lithodynamic settings.

Key words: kimberlite indicator minerals, sedimentogenesis cycle, mechanic scattering halo, formation conditions of halos, halos redeposition.

В проблеме миграционных свойств индикаторных минералов кимберлитов (ИМК), а также алмазов выделяются два аспекта: 1) миграционная способность отдельного зерна пироба, пикроильменита, оливина, алмаза и др. и миграционная способность ассоциации ИМК и через нее — подвижность, способность к перемещению всего ореола; 2) механические изменения отдельных минералов и всей транспортируемой ассоциации. В целом оба аспекта считаются важными для прогнозирования коренных месторождений алмазов. Однако их понимание основывается, как правило, на основе бытовой логики: чем дальше кимберлитовое тело, тем сильнее окатаны минералы. Такой подход не учитывает всю реальную совокупность процессов седиментогенеза и поведение в них как отдельных минеральных частиц, так и всей транспортируемой минеральной ассоциации.

Рассмотрим в целом совокупность процессов, определяющих распределение индикаторных минералов и алмазов в связи с эрозией кимберлитовых тел, и прежде всего — характер цикла седиментогенеза, чтобы яснее представлять себе условия формирования ореолов ИМК.

Цикл седиментогенеза. Как любой цикл, цикл седиментогенеза имеет начало, период развития и завершение. Начало цикла связано с возбуждением эрозионных процессов, завершение — с формирова-

нием осадка. На древних платформах, актуальных для прогноза алмазных месторождений, начало цикла всегда характеризуется континентальной обстановкой, то есть приподнятой сушей, в пределах которой начинаются активные процессы эрозии. Эти процессы затухают по мере нивелировки рельефа или подъема базиса эрозии. Соответственно, начальные фазы цикла седиментогенеза характеризуются относительно активным гидродинамическим режимом и перемещением обломочного материала, которое постепенно затухает и к концу цикла сменяется фиксацией и захоронением обломочных частиц.

Таков континентальный цикл седиментогенеза, характерный для районов, длительное время сохранявших относительно высокое стояние. Однако подъем уровня Мирового океана не только подавляет эрозионные процессы на суше, но и может сменить континентальный седиментогенез на морской. Наступление моря может иметь двоякий характер. Если наступающему морю противостоит приподнятая суша, идет активная, высокоэнергетичная береговая абразия, продуцирующая большое количество обломочного материала, то наступление моря имеет трансгрессивный характер. Трансгрессия в береговой зоне наступающего бассейна активно перерабатывает, истирает и сортирует обломочный материал, поэтому сохраняются и накапливаются наиболее прочные

частицы, сортированные по гранулометрии и плотности. Продвигающаяся вглубь суши береговая линия оставляет за собой выровненную поверхность (абразионный пенепплен), покрытую слоем галечника, гравелита или песка. Формируется трансгрессивный разрез осадков: на размытой и выровненной поверхности плотика залегают относительно крупные частицы (галечники, гравелиты), которые вверх по разрезу сменяются более тонкими осадками, песками.

Трансгрессия неизбежно сменяется регрессией. Отступающая береговая линия обнажает сушу и оставляет за собой сформированный в процессе трансгрессии абразионный пенепплен. Возобновляются континентальные условия седиментогенеза, причем в первую очередь размываются осадки трансгрессивного этапа развития бассейна, от которых остаются только частицы с наиболее высокой гидравлической крупностью, а более мелкие пятаются вместе с отступающей береговой линией. Однако этот этап континентального седиментогенеза имеет существенно иной характер, чем до трансгрессии, поскольку развивается на базе абразионного пенепплена с малыми абсолютными отметками и, соответственно, с вялыми гидравлическими процессами, которые незначительно активизируются по мере отступления моря.

Если наступление моря осуществляется на ранее пенеппенизированную сушу, то оно имеет существенно иной характер — ингрессии. Происходит подтопление суши, дельтовые, озерно-болотные фации сменяются прибрежным мелководьем бассейна, аллювиальные сменяются озерно-болотными и др. Эрозия ранее сформированных осадков практически не происходит, они лишь захороняются более тонкими осадками, вплоть до морских песков. Принципиально важно то, что в этом процессе сохраняются ранее сформированные континентальные фации. Регрессия после ингрессии также возобновляет континентальный режим и размывает ранее сформированных осадков.

Таковы основные типы седиментогенеза в гумидном климате. Более экзотические, такие как ледниковые или эоловые, в статье рассматриваться не будут.

Очевидно, что условия транспортировки и переработки минералов и их ассоциаций в разных условиях происходят по-разному.

Континентальные условия. В континентальных условиях транспортировка минералов происходит в направлении максимума геопотенциала, то есть от коренного источника в сторону конечного бассейна стока по системе водотоков.

Направленное перемещение обуславливает векторный характер изменения транспортируемой ассоциации минералов. Автором получено теоретическое решение задачи перемещения ассоциации ИМК в континентальных условиях [2], показывающее экс-

поненциальное падение их концентрации по мере удаления от коренного источника, сортировку по гранулометрии и плотности:

$$P = P_0 e^{-bx},$$

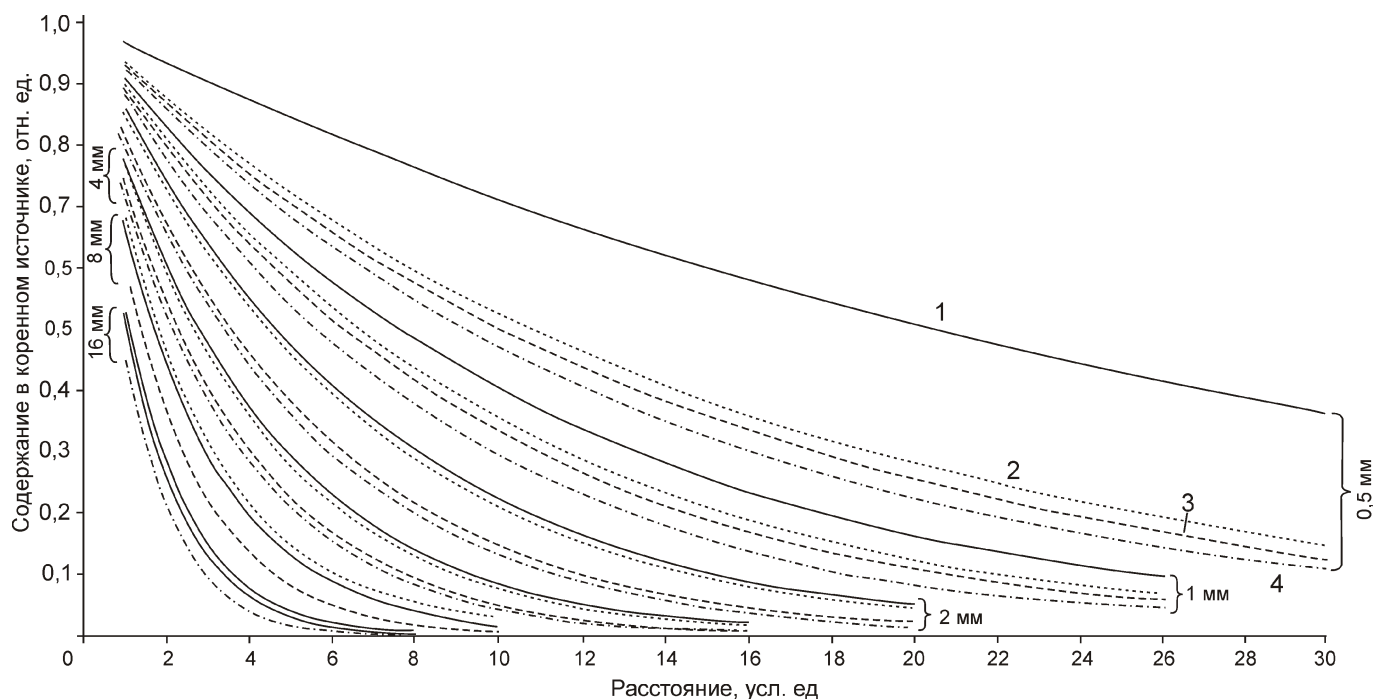
где P — концентрация минералов после переноса на расстояние x ; P_0 — исходная концентрация минералов в коренном источнике; b — относительный коэффициент инертности; x — расстояние в условных единицах. Это выражение по форме аналогично уравнению Штернберга, выведенному для расчета потери веса гальки в процессе истирания при переносе [6] и в целом уравнению диффузии, форма которого является одной из основных, описывающих рассеяние вещества в природе. Из данного уравнения и кривых распределения индикаторных минералов и алмазов разной гранулометрии, построенных на его основе (см. рисунок), видно, что максимальная концентрация минералов тяготеет к коренному источнику. Вблизи источника минеральная ассоциация максимально схожа с коренной, по мере удаления от источника гранулометрический спектр мельчает и ассоциация обедняется относительно плотными рудными минералами.

Полученные результаты хорошо согласуются с наблюдениями автора по современному потоку рассеяния кимберлитовой трубки Мир и по р.Хатыстыр (Центрально-Алданский район), дренирующей группу сближенных трубок взрыва. Близкое по форме выражение получено Д.Г.Сазерлендом [9] для изменения в процессе переноса среднего веса алмазов (гранулометрическая сортировка) по результатам изучения африканских россыпей:

$$y = a e^{-bx^{1/2}},$$

где y — средний вес кристалла в каратах, a — средний вес кристаллов в коренном источнике, b — величина, связанная с гидравлической крупностью зерен, x — расстояние от источника в километрах.

Что касается возможной дальности транспортировки отдельных зерен в связи с их механическим износом, то Кюнел в экспериментах по аллювиальному износу минералов определил, что для того, чтобы неокатанное зерно кварца (близкого по прочности к пиропу) стало среднеокатанным (20% потери веса) ему нужно пройти путь в 400 000 километров [8]. Эта цифра показывает чрезвычайную устойчивость минерала в условиях континентального переноса и слабую подверженность износу. Автор проследил оливины и пиропы Верхнемунского кимберлитового поля по р.Муна на расстояние более 100 км, при этом на их зернах практически не появились признаки износа. Реально эти минералы переносятся значительно дальше [3]. Однако для их прослеживания необходимо одно важное условие: по мере удаления от источника объемы опробования должны расти по экспоненте. Опробование равными объемами приводит



Теоретическое распределение индикаторных минералов кимберлитов относительно коренного источника:

1 — алмаз; 2 — пироп; 3 — пикроильменит; 4 — хромшпинелид

к тому, что минералы перестают улавливаться на определенном расстоянии в силу чисто статистических причин. Именно такую ошибку допустили предшественники, оценившие по тому же Верхнемунскому полю дальность транспортировки оливина не более 6 км [5].

Суммируя закономерности транспортировки индикаторных минералов в континентальных условиях констатируем следующее:

1. Максимальные концентрации индикаторных минералов тяготеют к коренным источникам; на удалении могут формироваться локальные повышенные концентрации на разного рода геоморфологических ловушках, однако запасы минералов в них будут определяться только тем количеством, которое могло донестись сюда, а ассоциация будет иметь черты сортировки, определяемые с дальностью транспортировки.

2. Минералы могут переноситься на многие десятки и сотни километров без заметного износа, однако возможности их обнаружения зависят от объемов опробования; при использовании равных объемов опробования можно установить лишь площадь максимальных концентраций, которая служит собственно минералогической аномалией, тяготеющей к коренному источнику.

3. Слабый износ или отсутствие видимых признаков износа характеризуют лишь континентальные условия формирования ореола, однако о близости коренного источника можно говорить только в случае сочетания слабого износа с систематической встре-

чаемостью повышенных концентраций и плохой сортировкой ассоциации минералов по гранулометрии и плотности; эти параметры служат основными критериями локализации коренных источников.

4. Распределение индикаторных минералов по концентрации, гранулометрии и плотности в водотоках имеет векторный характер, который сохраняется и после переотложения, что позволяет решить задачу локализации коренного источника по векторным характеристикам по переотложенным ореолам.

5. При систематическом обнаружении индикаторных минералов при использовании малых объемов опробования (лоток, скважина колонкового бурения) ни о каком дальнем и сверхдальнем переносе (сотни километров) говорить не приходится; утверждающий возможность такого переноса должен проследить дорожку все возрастающих концентраций вплоть до коренного источника (источников). Реально систематическая встречаемость индикаторных минералов свидетельствует о наличии местных коренных источников. Однако их локализация может быть осуществлена только по результатам минералогического картирования по комплексу признаков, чувствительных к транспортировке (концентрация, гранулометрия и ряд других [1]); по одному только состоянию минералов, их изношенности невозможно дать никаких количественных оценок удаленности кимберлитового тела.

Прибрежно-морские трансгрессивные условия. Минералы из коренных источников, находящихся на суше на некотором удалении от береговой линии бас-

сейна, транспортируются к нему по системе водотоков, в которых происходят первичные изменения транспортируемой ассоциации в соответствии с континентальными обстановками: в первую очередь падает концентрация минералов, появляются признаки сортировки по гранулометрии и плотности. Поэтому в прибрежно-морскую переработку поступают минералы, прошедшие первичную обработку на суше. В волноприбойной зоне обломочный материал, включая индикаторные минералы кимберлитов, подвержен постоянному возвратно-поступательному движению, вследствие которого происходит: 1) сильный механический износ частиц с возможностью полного уничтожения относительно менее абразивно устойчивых, в частности пикроильменита; 2) хорошая сортировка по гранулометрии и плотности. Гранулометрическая сортировка приводит к тому, что между подвижными частицами происходят множественные контакты (по принципу плотнейшей упаковки равновеликих шаров), что способствует повышению темпов истирания; 3) происходит накопление сносимых с суши минералов по принципу естественного шлихования [4]. Продвигающаяся вглубь суши береговая линия оставляет на выровненном дне бассейна площадной ореол хорошо окатанных, хорошо гидравлически сортированных абразивно устойчивых частиц, из кимберлитовых минералов как правило пиропов и алмазов. По мере приближения береговой линии моря к коренным источникам сокращается расстояние транспортировки минералов по суше, соответственно эти минералы менее дифференцированы, их количество выше, а гранулометрический спектр разнообразнее. Поэтому концентрация минералов, отчасти их гранулометрия в ореоле на дне трансгрессирующего бассейна повышаются, отражая приближение коренного источника. Наконец береговая линия достигнет коренного источника и пройдет его, оставив на дне бассейна. Эрозия кимберлитового тела прекратится, но его положение будет отмечено в ореоле трансгрессивного типа минералогической аномалией по концентрации, возможно гранулометрии индикаторных минералов с высокой или доминирующей ролью пиропов и алмазов. Необходимо учитывать, что наступающий бассейн служит базисом эрозии для многих кимберлитовых тел, поэтому в береговой линии интегрируется материал из разных коренных источников, масштаба куста тел или кимберлитового поля. Оставив на дне все кимберлитовое поле, береговая линия теряет источники питания индикаторными минералами и развитие ореола прекращается. Таким образом, сформируется интегральный ореол от группы кимберлитовых тел, отделенный от другого подобного ореола или пустым пространством, или с редкими фоновыми минералами. Ореол будет иметь «кометную» форму с головкой в районе кимберлитового поля и хвостом, указывающим направление, с которого развивалась трансгрессия.

Данная модель позволяет сделать следующие выводы:

1. Морской ореол трансгрессивного типа является интегральным от группы кимберлитовых тел масштаба кимберлитового поля или отдельного кластера (куста) кимберлитовых тел.

2. Максимальные параметры ореола по концентрации и гранулометрии минералов тяготеют к коренным источникам или совпадают с ними.

3. Ореолы представлены наиболее абразивно устойчивыми хорошо окатанными минералами; даже алмаз в этих условиях приобретает признаки износа.

4. Векторные характеристики ореола можно выявить в масштабе всего ореола, который практически никогда не наблюдается; на фрагментах ореолов, которые сохраняются после регрессии, векторные характеристики почти не видны. Поэтому по фрагментам трансгрессивных ореолов определить направление на коренные источники затруднительно. Тем не менее, обнаружение рядовыми объемами опробования устойчиво повторяющихся ассоциаций индикаторных минералов трансгрессивного типа свидетельствует о близости коренных источников, так как по мере удаления от них концентрация минералов падает также по экспоненте.

На стадии трансгрессии моря морские трансгрессивные ореолы на морском дне должны быть распространены широко, в соответствии с количеством кимберлитов, питавших развивающиеся ореолы. Однако следующая за трансгрессией регрессия оставляет мало шансов сохраниться трансгрессивным ореолам, что следует из характера самой регрессии. Могут сохраняться лишь фрагменты трансгрессивных ореолов в силу тех или иных тектонических или геоморфологических причин, но никогда они не сохраняются в полном виде.

Прибрежно-морские регрессивные условия. Регрессия морского бассейна приводит к осушению территории и возобновлению условий континентального седиментогенеза, в первую очередь эрозионных процессов. Естественно, вначале эродируются осадки, сформированные на трансгрессивной стадии, в т.ч. ореолы индикаторных минералов трансгрессивного типа. Их минералы, попадая в береговую зону, пьются вместе с ней, лишь частично «застывая» на суше, свидетельствуя о том, что здесь был развит трансгрессивный ореол. Одновременно вскрываются кимберлитовые тела и подпитывают вдогонку отступающую береговую линию свежими порциями минералов. Но необходимо учитывать, что трансгрессия оставила после себя абразивный пенеплен, поэтому в условиях малых абсолютных отметок активность эрозии невелика, «свежих» минералов мало, и они тяготеют к коренным источникам. Ассоциация минералов не успевает глубоко переработаться, наименее транспортабельные крупные тяжелые минералы, преимущественно полуокатанный пикроильменит,

отстают от уходящей береговой линии и остаются на суше, формируя морские регрессивные ореолы [4]. Относительно мелкие и легкие минералы не имеют шансов вырваться из береговой линии моря и пьются вместе с нею к месту стабилизации бассейна или его коллапса. Не образуется никаких специфических осадков регрессивного типа. Регрессивный ореол формируется практически на суше и представлен смесью остатков трансгрессивных ореолов, «свежих» минералов собственно континентального литодинамического типа и полуокатанных минералов, преимущественно крупного пикроильменита, прошедших частичную обработку в волноприбойной зоне при преобладании последних.

В результате можно констатировать:

1. При регрессии моря в условиях абразионного пенепплена с низкой энергетикой гидравлических процессов минералы имеют низкие миграционные возможности, поэтому в генерализованном плане их максимальные концентрации и максимальные гранулометрические классы тяготеют к коренным источникам.

2. Регрессивный морской ореол является интегральным и представлен смесью минералов трех литодинамических типов ореолов: континентальный, морской трансгрессивный и собственно регрессивный.

3. Из-за переработки в береговой линии моря векторные характеристики регрессивных ореолов сильно затушеваны и затруднительно определить «пенелг» на объект. Оптимальным является выделение в минеральной смеси минералов, принадлежащих к континентальному литодинамическому типу ореолов и осуществление прогноза по ним, учитывая, что в условиях абразионного пенепплена они не могли существенно удалиться от коренного источника. Но количество таких минералов может быть очень небольшим в связи с незначительной эрозией кимберлитов в условиях абразионного пенепплена. Максимальные концентрации и гранулометрия минералов служат дополнительным критерием прогноза.

Ингрессивные условия. Наступление моря имеет ингрессивный характер, если оно осуществляется на ранее пенеппенизированную сушу. Ингрессия приводит лишь к подтоплению, обводнению суши. Повышение базиса эрозии подавляет эрозионные процессы, способствуя сохранению ранее сформированных осадков, в т.ч. континентальных, которые захороняются озерно-болотными, а выше по разрезу — морскими, при этом никакого значительного перераспределения или направленного перемещения минералов не происходит. На минералах ингрессия может отразиться в слабом вторичном износе минералов, в т.ч. на пиропе — в полировке, если колебания воды, обусловленные волнением на поверхности мелководного бассейна, достигают минералов в осадках, ранее сформированных в континентальных условиях. В от-

личие от трансгрессии, формирующей типичный разрез морских осадков, при ингрессии в основании разреза, как правило, сохраняются ранее сформированные продуктивные континентальные фации, сменяясь вверх по разрезу непродуктивными захороняющими осадками.

Из краткого рассмотрения миграционных свойств минералов в различных литодинамических условиях формирования ореолов следует, что во всех случаях максимальные концентрации минералов сохраняются вблизи коренных источников. В принципе минералы могут перемещаться на очень большие расстояния, однако уловить их на значительном удалении рядовыми объемами опробования практически невозможно. Использование ограниченных, как правило, небольших объемов опробования, обеспечивает обнаружение только наиболее контрастных частей ореолов, актуальных в плане прогноза, хотя при этом остается опасность пропуска мало контрастных ореолов. Однако объем опробования — фактор субъективный и возможна его корректировка при соответствующей формулировке поисковой задачи. Увеличение объемов опробования приведет к расширению границ ореолов и обнаружению мало контрастных ореолов.

Переотложение ореолов. Выше рассмотрены модели ореолов, сформированных в одноактном процессе. Но реально имеем, как правило, ореолы в переотложенном, иногда неоднократно, состоянии. В условиях древних стабильных платформ чередование циклов седиментогенеза и их характер определяются главным образом колебаниями уровня Мирового океана, поэтому синхронно и однотипно происходят на значительных пространствах. Уже одно то, что формирование коллекторов с переотложенными минералами происходит главным образом в фациях ближнего переноса, свидетельствует о том, что минералы практически проектируются из размытого более древнего коллектора на новую эрозионную поверхность и значительного перемещения не происходит. Принцип унаследованности при переотложении является основным, на котором строится прогноз по переотложенным ореолам. Как правило, продуктивными являются те коллекторы, которые лежат на кимберлитовмещающих породах, то есть предшествующий коллектор размыт полностью, а его минералы перешли в формирующийся коллектор. Однако иногда на одной продуктивной свите залегает другая, хотя обе содержат переотложенные минералы. Это означает, что нижняя свита находилась в условиях низких абсолютных отметок и потому уберечься от эрозии, а минералы верхней свиты «наползли» на нее с эродируемой территории в стороне от данной. Такая ситуация имеет место в западной части Мало-Ботубинского района, где на продуктивных среднекарбонных отложениях лапчанской свиты с переотложенным трансгрессивным алмаз-пироповым орео-

лом лежат продуктивные отложения ботубобинской свиты с существенно пикроильменитовой ассоциацией. Ясно, что последняя «наползла» на отложения лапчанской свиты, вероятно, с восточных румбов, где в ботубобинское время развивалась эрозия. Однако расстояние перемещения вряд ли велико и определяется масштабами Мирнинского кимберлитового поля, то есть километрами. Другой случай более масштабной транспортировки наблюдается по северо-западному борту Вилуйской синеклизы, где в связи с воздыманием Анабарской антеклизы с мела начался размыв юрского коллектора по периферии Вилуйской синеклизы, вовлеченной в воздымание, и миграция индикаторных минералов к внутренним частям синеклизы [7]. В результате минералы с периферических частей коллектора оказались «наползшими» на поверхность того же коллектора, еще сохранившегося в пределах синеклизы. В частности, такая ситуация имеет место в бассейне р.Конончан, где большое количество окатанного пикроильменита, пиропов с признаками гипергенной коррозии лежит на поверхности юрских отложений. Но и в этом случае речь не идет о значительных перемещениях. Последовательный размыв юрских отложений с периферии в юго-восточных румбах на протяжении мела-палеогена приводит к перемещению индикаторных минералов наподобие плаща в километры, возможно в первые десятки километров по периферии, но миграция затухает по мере приближения к полю сплошного развития юрского коллектора в пределах синеклизы. Поэтому минералы в районе р.Конончан являются наиболее вероятными представителями размытых юрских отложений ближнего окружения, где юрские отложения промыты до нижнего палеозоя.

Таким образом, в процессе переотложения в фациях ближнего переноса минералы практически сохраняют место своего предшествующего положения, то есть работает принцип унаследованности.

Однако в ряде случаев повышение активности эрозионных процессов может приводить к миграции индикаторных минералов на некоторое расстояние в зависимости от факторов, возбуждающих эрозию, и времени действия этих факторов. Так, воздымание Анабарской антеклизы как мощный, длительно действующий фактор могло обусловить более значительное перемещение минералов, чем локальные факторы в пределах Мирнинского поля на протяжении ботубобинского времени.

Итак, можно констатировать, что в отношении индикаторных минералов кимберлитов действует основной закон россыпеобразования — разубожива-

ние полезного компонента по мере удаления от коренного источника. Рассмотрение различных литодинамических обстановок формирования ореолов показывает, что максимальные концентрации индикаторных минералов в любом случае тяготеют к питающим коренным источникам. Поэтому обнаружение устойчивых концентраций индикаторных минералов при использовании ограниченных объемов опробования надежно свидетельствует о наличии местных коренных источников. Заявлениям о происхождении тех или иных устойчивых концентраций минералов на определенной площади за счет весьма удаленных известных коренных источников следует противопоставить требование проследить «дорожку» этих минералов во все возрастающих количествах вплоть до указанных источников, поскольку «пустых» промежутков между ними быть не может.

Обнаружение индикаторных минералов с точки зрения их миграционных свойств служит первым и важнейшим прогностическим признаком. Однако в дальнейшем следует провести сложную работу по идентификации и локализации коренных источников.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Афанасьев В.П.* К методике минералогического картирования шлиховых ореолов кимберлитовых тел // *Геология и геофизика*. 1989. № 5. С. 36—42.
2. *Афанасьев В.П., Бабенко В.В.* Миграционные свойства кимберлитовых минералов // *Докл. АН СССР*. 1988. Т. 303. № 3. С. 714—718.
3. *Афанасьев В.П., Варламов В.А., Гаранин В.К.* Зависимость износа кимберлитовых минералов от условий и дальности транспортировки // *Геология и геофизика*. 1984. № 10. С. 119—124.
4. *Афанасьев В.П., Зинчук Н.Н.* Основные литодинамические типы ореолов индикаторных минералов кимберлитов и обстановки их формирования // *Геология рудных месторождений*. 1999. Т. 41. № 3. С. 281—288.
5. *Бобриневич А.П., Бондаренко М.Н., Гневушев М.А. и др.* Алмазные месторождения Якутии. —М.: Госгеолтехиздат, 1959.
6. *Девдариани А.С.* Математический анализ в геоморфологии. —М.: Недра, 1967.
7. *Плотникова М.И., Кардопольцева О.И., Салтыков О.Г. и др.* Стратиграфия и литология «водораздельных галечников» Мархино-Тюнгского междуречья и палеогеография времени их накопления в связи с историей формирования алмазоносных россыпей в центральной и северо-восточной частях Сибирской платформы // *Геология алмазных месторождений*. 1963. С. 123—141.
8. *Kuenen Ph.H.* Experimental abrasion on sand // *Amer. J. Sci.* 1959. Vol. 257. Pp. 212.
9. *Sutherland D. G.* The transport and sorting of diamonds by fluvial and marine process // *Econ. Geology*. 1982. Vol. 77. № 7. Pp. 1613—1620.

Биостратиграфия и брахиоподы ассельско-сакмарских отложений Кубалахского разреза (низовье р.Лена)

В.И.МАКОШИН, Р.В.КУТЫГИН (Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт геологии алмаза и благородных металлов (ИГАБМ) СО РАН; 677980, г.Якутск, проспект Ленина, д.39)

Приведены данные о вертикальном распространении брахиопод в верхнекубалахской подсвите и туорасисской свите Кубалахского разреза (низовье р.Лена). В верхнекубалахской подсвите, ранее рассматриваемой в составе слоев с *J. protoverchoyanicus* каменноугольного возраста, установлены брахиоподы раннепермского вида *Jakutoproductus* aff. *crassus* Kasch., позволяющие отнести подсвиту к пермской системе. В литологически однородной туорасисской свите Усть-Ленской подзоны выделены слои с *Jakutoproductus verkhoianicus*, слои с *J. insignis* и слои с *J. terechovi*, позволяющие провести по брахиоподам корреляцию с ассельско-сакмарскими отложениями Западного Верхоянья.

Ключевые слова: пермская система, кубалахская свита, туорасисская свита, брахиоподы, гониатиты, *Jakutoproductus*.

Макошин Виктор Игоревич, makoshin_89@mail.ru

Кутыгин Руслан Владимирович, rkutygin@mail.ru

Biostratigraphy and brachiopods of the Asselian-Sakmarian of the Kubalakh section (lower reaches of the Lena River)

V.I.MAKOSHIN, R.V.KUTYGIN

The data on the vertical distribution of brachiopods of the Upper Kubalakh Subformation and Tuorasis Formation of the Kubalakh section (lower reaches of the Lena River). In the Upper Kubalakh Subformation previously considered as part of the *J. protoverchoyanicus* beds the Carboniferous, installed the Early Permian brachiopods of the species *Jakutoproductus* aff. *crassus* Kasch., allowing Subformation attributed to the Permian. In homogeneous lithology Tuorasis Formation of the Ust-Lena subzone allocated to the *Jakutoproductus verkhoianicus* beds, *J. insignis* beds and *J. terechovi* beds, by allowing for correlation with brachiopods of the Asselian-Sakmarian deposits of the West Verkhoyansk Region.

Key words: permian, kubalakhian formation, tuorasisian formation, brachiopods, goniatite, *Jakutoproductus*.

Кубалахский разрез расположен на правом берегу низовья р.Лена в районе устья р.Кубалах (72°12'26,40" северной широты, 126°57'14,50" восточной долготы). Он имеет протяженность более 15 км и является стратотипическим для большинства свит верхнего палеозоя Усть-Ленской подзоны [2, 7]. Ранее разрез послойно изучался А.А.Межвилком, А.С.Каширцевым, Р.В.Соломиной, М.Д.Булгаковой, О.И.Богущ, О.В.Юфревым, В.Н.Андриановым, Б.С.Абрамовым и др.

Впервые пермские отложения низовья р.Лена были подразделены А.А.Межвилком [6] на верхоянскую и хараулахскую свиты. Верхоянская свита характеризовалась массовым распространением брахиопод *Jakutoproductus verkhoianicus* (Fred.), *Cancrinella cancriniformis* (Tsch.) и *Chonetes brama* Fred., а хараулахская свита — двустворчатыми моллюсками рода *Kolymia*. Верхоянскую свиту А.А.Межвилк относил к нижнему отделу перми, а хараулахскую — к верхне-

му. Позднее А.С.Каширцев с коллегами [2] разделил верхоянскую свиту на тугасирскую, кубалахскую и туорасисскую свиты, а хараулахскую — на сахаинскую, собольскую и чинскую. Тугасирская свита им рассматривалась в составе каменноугольной системы. К нижней перми относились кубалахская и туорасисская свиты, а к верхней — сахаинская, собольская и чинская. По данным А.С.Каширцева, в первых трех свитах доминируют брахиоподы рода *Jakutoproductus*: в тугасирской — *J. aff. cheraskovi* Kasch., в кубалахской — *J. verkhoianicus* (Fred.) и *J. protoverchoyanicus* Kasch., а в туорасисской — *J. verkhoianicus* (Fred.) и *J. crassus* Kasch.

Р.В.Соломина с коллегами, изучавшие разрез в те же годы, придерживались схемы А.А.Межвилка, обособив из нижней части верхоянской свиты отдельный стратон, названный собольской свитой [3]. Возраст собольской свиты они определили как среднекаменноугольный, в связи с этим между со-

убольской (средний карбон) и верхоянской (нижняя пермь) свитами обосновывался стратиграфический перерыв [8]. По данным Р.В.Соломиной (1982), в отложениях, относимых к нижнекубалахской подсвите, установлены *J. protoverchoyanicus* Kasch. и *J. parenensis* Zav., а в верхнекубалахской подсвите и туорасисской свите — *J. verkhoianicus* (Fred.) и *J. crassus* Kasch.

Позднее Б.С.Абрамов и А.Д.Григорьева в кубалахской свите рассматриваемого разреза установили вид *J. protoverchoyanicus* Kasch., а в туорасисской — *J. verkhoianicus* (Fred.) и *J. crassus* Kasch. [1]. Это в дальнейшем послужило основанием для проведения в Усть-Ленской подзоне границы карбона и перми в основании туорасисской свиты по смене комплекса брахиопод зоны *protoverchoyanicus* брахиоподами зоны *verkhoianicus* [7]. При этом вертикальных изменений в видовом составе якутопродуктусового комплекса туорасисской свиты выявлено не было. Полученные в последние годы новые данные по биостратиграфии разреза позволили пересмотреть возраст верхней части кубалахской свиты и установить последовательность ряда брахиоподовых комплексов в туорасисской свите.

Разрез Кубалахский был послойно изучен авторами данной публикации совместно с Л.Г.Перегоедовым в 2010 г. Долина р.Кубалах пересекает выходы кубалахской свиты на две части, рассматриваемые в качестве подсвит. Нижняя подсвита кубалахской свиты вскрывается на правом берегу р.Лена ниже устья р.Кубалах. В этой части разреза авторы определили брахиоподы *J. protoverchoyanicus* Kasch., характерные для каменноугольных отложений [7]. Выше устья р.Кубалах вдоль правого берега р.Лена моноклинально залегают сложно переслаивающиеся разномзернистые алевролиты верхнекубалахской подсвиты, в которых отмечаются редкие прослои песчаников (рис. 1). В кровле подсвиты выделяется пачка мелко- и среднезернистых песчаников мощностью 10 м, являющаяся четким литологическим маркером. Туорасисская свита представлена ритмично переслаивающимися мелко- и среднезернистыми алевролитами с редкими прослоями разномзернистых песчаников. В наиболее тонкозернистых частях разреза имеются горизонты мелких (до 10—15 см) карбонатно-глинистых конкреций. Граница туорасисской и сахаинской свит проводится в подошве 25-метровой пачки мелко-среднезернистых песчаников сахаинской свиты.

В нижней части пермских отложений были собраны обширные коллекции беспозвоночных, среди которых доминируют брахиоподы рода *Jakutoproductus*. Установлены три основных биостратиграфических интервала, характеризующиеся различными комплексами брахиопод и обозначенные нами как слои с *Jakutoproductus verkhoianicus*, слой с *Jakutoproductus insignis* и слой с *Jakutoproductus terechovi*.

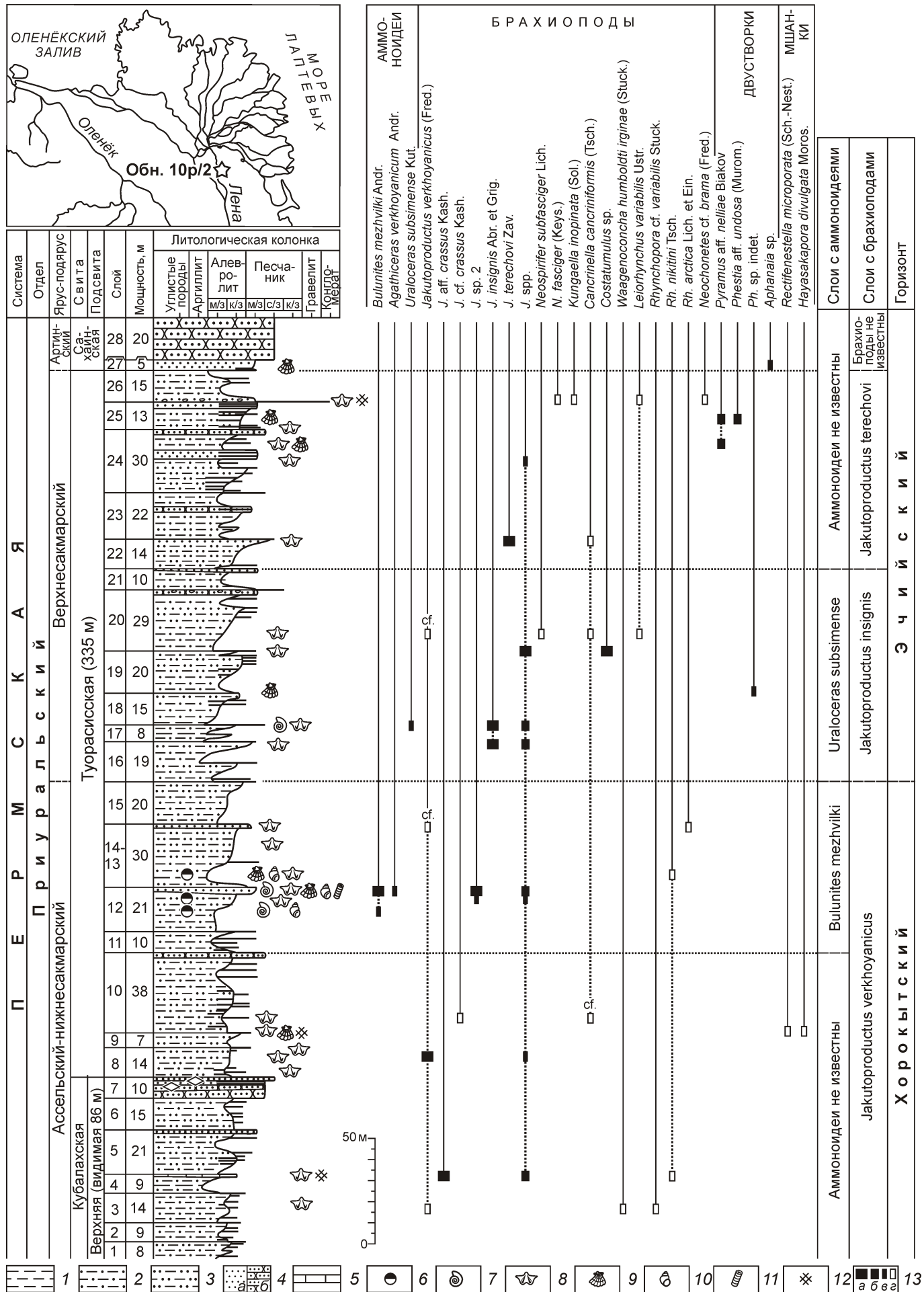
Слой с *Jakutoproductus verkhoianicus*, относимые к ассельскому ярусу и нижнесакмарскому подъярусу, выделяются в интервале слоев 1—15, где наблюдаются три уровня с брахиоподами рода *Jakutoproductus*. Первый уровень, выявленный в кровле мелкозернистых алевролитов слоя 4 (верхнекубалахская подсвита, 46 м ниже кровли), характеризуется многочисленными брахиоподами *J. aff. crassus* Kasch. (рис. 2, а). Не исключается возможность обособления этой части разреза в самостоятельные слои с *J. crassus*, но для этого требуется ревизия слабо изученного вида *J. crassus* Kasch. с проведением сравнительного анализа вертикального и географического распространения вида в Верхоянском регионе. Ранее в верхнекубалахской подсвите Р.В.Соломиной (1982) определялись также брахиоподы *J. cf. verkhoianicus* (Fred.), *Waagenoconcha humboldti irginae* (Stuck.), *Rhynchopora cf. variabilis* (Stuck.), *Rh. nikitini* Tsch.

Второй уровень приурочен к ракушняку, обнаруженному в крупнозернистых алевролитах слоя 8 (основание туорасисской свиты). Здесь были собраны многочисленные раковины *J. verkhoianicus* (см. рис. 2, б—в). В мелкозернистых алевролитах на уровне около 30 м выше подошвы туорасисской свиты (слой 10) Р.В.Соломиной ранее определялись брахиоподы *J. cf. crassus* Kasch., *Cancrinella cf. cancriniformis* (Tsch.) и мшанки *Rectifenestella microporata* (Sch.-Nest.), *Hayasakapora divulgata* Moros.

Третий уровень установлен в 85—88 м выше подошвы туорасисской свиты (верхняя часть слоя 12), где было собрано более 30 экземпляров рода *Jakutoproductus*, определенных как *J. sp. 2* (см. рис. 2, г—д). По морфологическим характеристикам вид *J. sp. 2* близок к *J. insignis* Abr. et Grig., но отличается более грубыми и слегка волнистыми концентрическими морщинами, слабее развитым синусом, наличием одного ряда оснований игл с кольцевыми валиками в передней части висцерального диска. Последний признак сближает *J. sp. 2* с распространенными ниже по разрезу *J. verkhoianicus* Fred., от которого отлича-

Рис. 1. Разрез ассельско-сакмарских отложений низовья р.Лена выше устья р.Кубалах (обнажение 10р/2), составители Р.В.Кутыгин, Л.Г.Перегоедов, В.И.Макошин, 2010:

1 — аргиллиты; алевролиты: 2 — мелкозернистые, 3 — крупнозернистые; 4 — песчаники: а — слоистые, б — массивные; 5 — прослои известняка; 6 — карбонатно-глинистые конкреции; 7 — аммоноидеи; 8 — брахиоподы; 9 — двустворки; 10 — гастроподы; 11 — криноидеи; 12 — мшанки; 13 — находки экземпляров: а — десятки, б — до 10, в — единицы, г — по данным Р.В.Соломиной



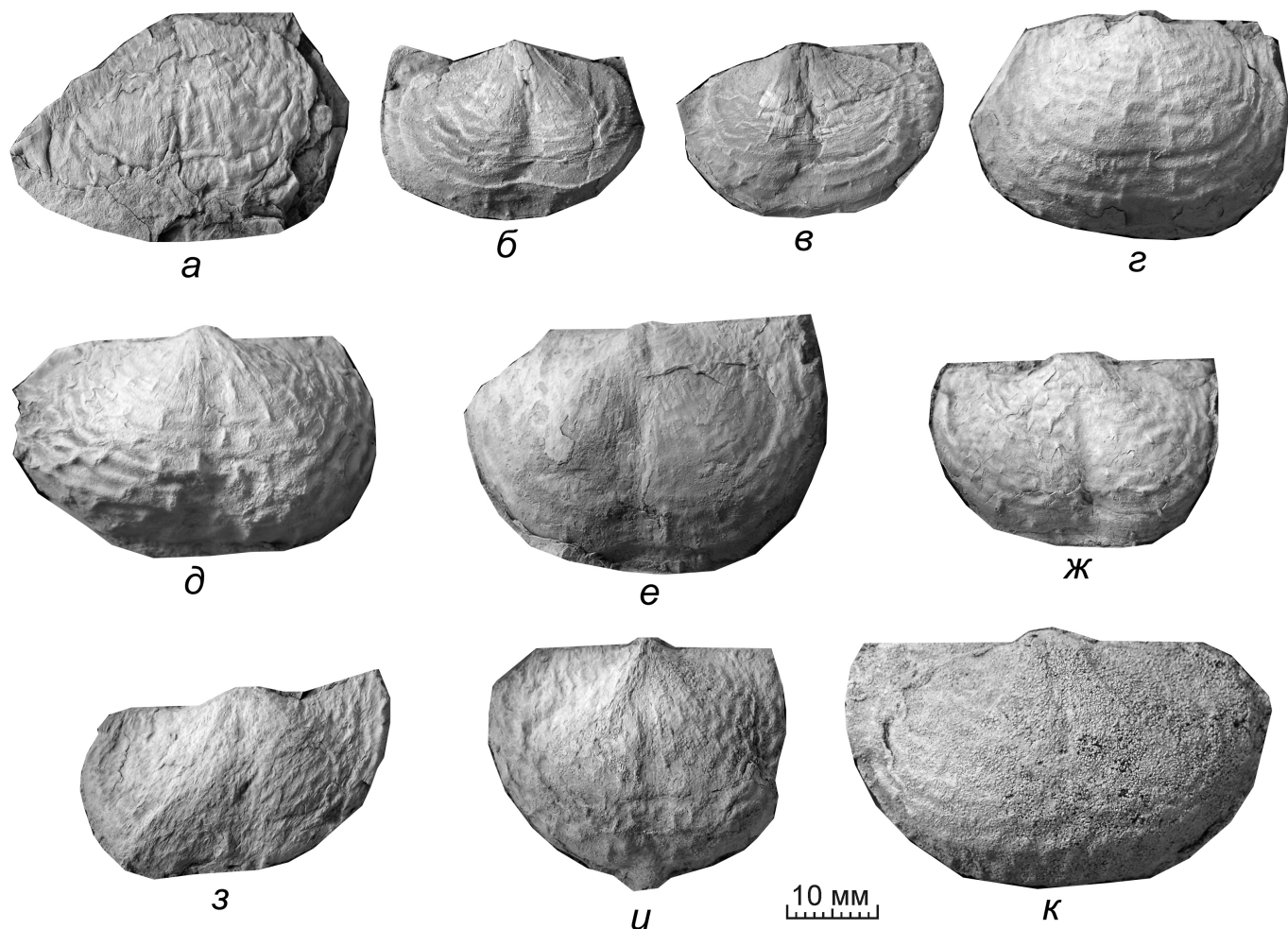


Рис. 2. Брахиоподы рода *Jakutoproductus* из ассельско-сакмарских отложений Кубалахского разреза (обнажение 10р/2):

J. aff. crassus Kasch.: а — экз. 202/160-3, брюшная створка, верхнекубалахская подсвита, слой 4; *J. verkhoyanicus* (Fred.), брюшная створка, основание туорасисской свиты, слой 8: б — экз. 202/161-2 и в — экз. 202/161-5; *J. sp. 2*, брюшная створка, нижняя часть туорасисской свиты, слой 12: г — экз. 202/166-1 и д — экз. 202/168-2; *J. insignis* Abr. et Grig., брюшная створка, средняя часть туорасисской свиты: е — экз. 202/174-20, слой 16 и ж — экз. 202/177-8, слой 17; *J. sp.*: з — экз. 202/178-5, брюшная створка, средняя часть туорасисской свиты, слой 19; *J. terechovi* Zav., брюшная створка, верхняя часть туорасисской свиты, слой 22: и — экз. 202/179-3 и к — экз. 202/179-5; экземпляры хранятся в геологическом музее ИГАБМ СО РАН (коллекция 202)

ются большими размерами, слабо развитым синусом, более толстыми и грубыми концентрическими морщинами. На уровне с *J. sp. 2* также были обнаружены многочисленные раковины гониатитов *Bulunites mezhvilki* Andr., характеризующие в Верхоянье ассельско-нижнесакмарские отложения хорокытского горизонта (слои с *B. mezhvilki*) [9]. В алевролитах слоя 13—14 ранее Р.В.Соломиной определялись также брахиоподы *J. cf. verkhoyanicus* (Fred.), *Rh. nikitini* Tsch. и *Rh. arctica* Lich. et Ein.

Слои с *Jakutoproductus insignis* наблюдаются в интервале слоев 16—21 (средняя часть туорасисской свиты). Брахиоподы рода *Jakutoproductus* обнаружены в разнотернистых алевролитах слоев 16 и 17, на уровне 155—165 м выше подошвы туорасисской свиты, где были собраны более 50 экземпляров *J. insignis*

Abr. et Grig. (см. рис. 2, е—ж). Представителей этого вида ранее авторы выделили в основании эчийского горизонта бассейнов рек Дянышка, Тумара, Келе, Дулгалах (Западного Верхоянья) [4, 5]. Помимо Верхоянья вид распространен в Колымо-Омолонском регионе, где является видом-индексом одноименной биостратиграфической зоны нижней части огонерского горизонта. В слое 17 обнаружен экземпляр гониатита *Uraloceras subsimense* Kut., характеризующего в Верхоянье одноименные слои нижней части эчийского горизонта [9]. В алевролитах слоя 19 собраны брахиоподы *J. sp.* (см. рис. 2, з), *Costatumulus sp.* и двустворки *Phestia sp. indet.* (здесь и далее: определение двустворок выполнены А.С.Бяковым). По данным Р.В.Соломиной в мелкозернистых алевролитах слоя 20 определены брахиоподы *J. cf.*

verkhoyanicus (Fred.), *Neospirifer subfasciger* Lich., *Cancrinella cancriniformis* (Tsch.), *Leiorhynchus variabilis* Ustr. Слои с *insignis* отнесены к верхнесакмарскому подъярсу.

Слои с *Jakutoproductus terechovi* установлены в интервале слоев 22—26 (верхняя часть туорасисской свиты). В среднезернистых песчаниках слоя 22 (80—82 м ниже кровли туорасисской свиты) собрано 13 экземпляров рода *Jakutoproductus*, определенные как *J. terechovi* Zav. (см. рис. 2, и—к). Верхняя часть туорасисской свиты (слои 22—26) также охарактеризована брахиоподами *Cancrinella cancriniformis* (Tsch.), *Neospirifer fasciger* (Keys.), *Kungaella inopinata* (Sol.), *Leiorhynchus variabilis* Ustr., *Neochonetes* cf. *brama* (Fred.) (по рукописным материалам Р.В.Соломиной), двустворками *Pyramus* aff. *nelliae* Biakov, *Phestia* aff. *undosa* (Murom.). В биостратиграфическом отношении наибольший интерес вызывает вид *J. terechovi*, который ранее был установлен авторами в эчийском горизонте Западного Верхоянья выше слоев с *J. insignis* [5]. В Колымо-Омолонском регионе *J. terechovi* является видом-индексом одноименной зоны средней части огонерского горизонта. Слои с *terechovi* отнесены авторами к верхнесакмарскому подъярсу.

В результате изучения брахиопод из нижней части пермских отложений низовья р.Лена (Кубалахский разрез) получены следующие биостратиграфические данные:

1. Установлено присутствие в верхнекубалахской подсвите брахиопод раннепермского вида *J. aff. crassus* Kasch. В связи с этим верхнекубалахскую подсвиту следует относить к нижней перми, а не верхнему карбону.

2. Впервые в литологически однородной туорасисской свите Усть-Ленской подзоны выделена последовательность биостратонов (слои с *Jakutoproductus*

verkhoyanicus, слои с *J. insignis* и слои с *J. terechovi*), позволяющая провести корреляцию с ассельско-сакмарскими отложениями Западного Верхоянья по брахиоподам.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке грантов РФФИ 12-05-31158мол_а, 13-05-00520, 14-05-00217 и Программы Президиума РАН № 23 (Арктика).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абрамов Б.С., Григорьева А.Д. Биостратиграфия и брахиоподы перми Верхоянья. — М.: Наука, 1988.
2. Каширцев А.С., Каширцев В.А., Сафронов А.Ф., Семенов В.П. Опорный разрез каменноугольных и нижнепермских отложений в приустьевой части р.Лена // Тр. IX науч. конф. инженерно-технического факультета (тезисы докладов). — Якутск, 1966. С. 54—58.
3. Лунгерсгаузен Г.Ф., Соломина Р.В. Стратиграфия каменноугольных отложений Северного Хараулаха (низовья Лены) // Доклады академии наук СССР. 1966. Т. 168. № 5. С. 1138—1140.
4. Макошин В.И., Кутыгин Р.В. Биостратиграфия и брахиоподы ассельско-артинских отложений Аркачан-Эчийского междуречья (Западное Верхоянье) // Отечественная геология. 2013. № 5. С. 46—51.
5. Макошин В.И., Кутыгин Р.В. О выделении слоев с *Jakutoproductus insignis* в нижнепермских отложениях Западного Верхоянья // Вестник СВФУ. 2013. № 4. С. 31—34.
6. Межвилк А.А. Стратиграфия северного Хараулаха // Советская геология. 1958. № 7. С. 43—61.
7. Решения Третьего межведомственного регионального стратиграфического совещания по докембрию, палеозою и мезозою Северо-Востока России (Санкт-Петербург, 2002). — С-Пб: Изд-во ВСЕГЕИ, 2009.
8. Соломина Р.В., Лунгерсгаузен Г.Ф., Захаров В.В. Разрезы каменноугольных и пермских отложений Хараулахского хребта // Стратиграфия каменноугольных и пермских отложений Северного Верхоянья. — Л.: Недра, 1970. С. 8—20.
9. Kutygin R.V. Permian ammonoid associations of the Verkhoyansk Region, Northeast Russia // Journal of Asian Earth Sciences. 2006. Vol. 26. Iss. 3—4. Pp. 243—257.

Палеоклиматические условия аккумуляции алмазоносных отложений в позднем палеозое на северо-востоке Ангарида

Н.И.АКУЛОВ, И.М.МАЩУК (Институт земной коры (ИЗК) СО РАН; 664033, г.Иркутск, ул.Лермонтова, д.128)

Приведены результаты анализа литологических и флористических данных, позволяющие по-новому взглянуть на палеоклиматические условия, существовавшие на Ангарида в позднем палеозое. Отмечена постепенная смена сезонного семиаридного субтропического климата, существовавшего в миссисипскую эпоху, семигумидным субтропическим — пенсильванской эпохи, а затем гумидным климатом умеренных широт — пермского периода.

Ключевые слова: Сибирская платформа, Ангарида, поздний палеозой, алмазоносные отложения, флора, ориктоценозы, литологические индикаторы, палеоклимат.

Акулов Николай Иванович, akulov@crust.irk.ru

Машук Ирина Михайловна

Paleoclimatic conditions of accumulation diamondiferous in the Late Paleozoic on the northeast Angaraland

N.I.AKULOV, I.M.MASHCHUK

The results of the analysis lithological and the floristic data are given, making it possible in a new way to glance at the paleoclimatic conditions, existed on the Angaraland in the Late Paleozoic. Is noted the gradual change of seasonal semiarid subtropical climate, existed in the Mississippian epoch, by semihumid subtropical — pennsylvanian epoch, and then by the seasonal humid climate of the temperate zone — Permian period.

Key words: Siberian platform, Angaraland, late paleozoic, diamondiferous, flora, oriktotsenozy, lithological indicators, palaeoclimate.

Климатические изменения, происходящие в настоящее время на Земле, заставляют исследователей различных отраслей и направлений науки, по-новому взглянуть на результаты реконструкции их изменений в прошлом. Возможно ли внезапная, катастрофическая смена климата или его становление обусловлено постепенными геодинамическими преобразованиями, способствующими его последовательному постепенному преобразованию. Ответ на данный вопрос возможен только благодаря изучению древних отложений. По мнению некоторых исследователей [17] в пенсильванскую эпоху на Ангарида, произошло оледенение*. Важно отметить, что уже в конце пермского периода на месте пассивной континентальной восточной окраины Ангарида началось постепенное становление Верхоянской складчатой системы, в пределах которой отмечены верхнепермские ледниковые и ледово-морские отложения [6, 16]. Кроме того, по данным геодинамических моделей К.Р.Скотеза [28] основная часть южного материка Гондваны также была подвержена оледенению, но на ее территории уже наметился глобальный переход от холодного (субарктического, а местами и арктичес-

кого) климата к более теплomu климату умеренных широт [12, 20—22, 24—29 и др.].

Свидетельство о позднепалеозойских оледенениях в Якутской алмазоносной провинции имеет не только теоретическое, но большое прикладное значение. Методика проведения алмазопроископических работ среди гляциальных, флювиогляциальных и флювиогляциально-селевых отложений представленных обширными зандровыми полями, ледниковыми озерами, озами, камами и другими типами ледниковых отложений должна иметь свои особенности, по сравнению с применяемыми традиционными методами поисков. В связи с этим основная задача заключалась в решении принципиального вопроса — было ли оледенение в позднем палеозое на Ангарида?

Материалом для исследований послужили результаты многочисленных литолого-палеонтологических анализов кернa из поисковых скважин, полученного в процессе хозяйственных работ с акционерной компанией ОАО «АЛРОСА» (Ботубинская экспедиция), данные по обработке экспедиционных палеонтологических коллекций, а также публикации, касающиеся данного вопроса [2, 3, 8—11 и др.]. Все определения ископаемых растений выполнены И.М.Машук, а их коллекция хранится в ИЗК СО РАН.

Геологическое строение. Древний континент Ангарида, возникший в лландоверийскую эпоху силура [1], в пенсильванскую эпоху приобрел совер-

* Здесь и далее стратиграфические подразделения приведены согласно с международной геохронологической шкалой [23].

шенно иные очертания (рис. 1). Многочисленные осадочные бассейны, существовавшие на платформенной части Ангарида начиная с девонского периода (Рыбинский Поймо-Бирюсинский, Кемпендзяйский и др.), прекратили свое существование. В позднем палеозое на ее территории произошло заложение Тунгусского угольного бассейна, осадочное наполнение которого погребло под собою все среднепалеозойские бассейны седиментации, многочисленные внутриплитные поднятия и среднепалеозойские кимберлитовые тела. В тектоническом плане Тунгусский угольный бассейн объединил такие крупные структуры как Норильская мульда, Тунгусская синеклиза, а также северо-западная часть Ангарской синеклизы. Анализируя в целом геологическое строение Тунгусского угольного бассейна, следует отметить, что нормальное залегание пластов почти повсеместно осложнено многочисленными тектоническими нарушениями, по которым в конце палеозойской—начале мезозойской эры (P_3 — T_1) в осадочный чехол платформы внедрились изверженные породы — траппы. Многочисленные силлы, штоки и дайки долеритов и диабазов пронзили верхнепалеозойские алмазонасные отложения, разбив их на огромные блоки, а излившиеся лавовые покровы бронировали их сверху.

В настоящее время верхнепалеозойский мегакомплекс рассматриваемых отложений, входящий в состав Тунгусско-Вилуйской структурно-седиментационной зоны, подразделен на четыре свиты: лапчанскую, ботуобинскую, ахтарандинскую и боруллойскую [18].

Лапчанская свита (C_2^1) — комплекс пенсильванских отложений, залегающий с разрывом на мергелях нижнего ордовика и терригенно-карбонатных образованиях верхнего кембрия. Его исследование проведено на междуречье Большой и Малой Ботуобуи, где он заполняет отдельные изолированные древние впадины несортированными и плохо сортированными песчано-галечными отложениями, переслаивающимися с пластами аргиллитов, алевролитов и угля. Все отложения сероцветны, обладают косой, линзовидной и значительно реже горизонтальной слоистостью, а их мощность колеблется от 0 до 22 м. Характерная особенность рассматриваемых отложений — наличие в их составе хорошо окатанных валунов и галек, экзотических для данного района пород, а также неокатанных обломков подстилающих пород и повышенное количество спутников алмаза — пиропов, хромдиопсида, пикроильменита и самих кристаллов алмазов. В составе лапчанской свиты обнаружен богатый палинологический спектр, представленный доминантами — *Cyclobaculisporites trichacantus* (Lub.) Lub. и *Remysporites hsiolopterus* (Lub.) Lub., а также субдоминантами — *Florinites katskaensis* Medv., *Apiculatisporites hispidus* (Andr.) Siv., *Verrucosiporites phaleratus* (Lub.) Lub., *V. rubiginosus*

(Lub.) Lub. и сопутствующими — *Foliolatisporites perforatus* (Lub.) Lub., *Turrisporites rigidispinosus* (Lub.) Lub., *Capillatisporites lunatus* (Kusk.) Andr., *Cyclogranisporites larvatus* (Lub.) Lub., *Retusotriletes ciliaris* Peterson., *Lycospora* sp. и др. Согласно палинологическому анализу, выполненному В.А.Мишариной, выявленный палинологический комплекс позволяет отнести данные отложения к башкирскому ярусу пенсильванской эпохи.

Ботуобинская свита (C_2^1 P_1^1) широко распространена в пределах рассматриваемой части Ангарида. Она залегает как на отложениях нижнего палеозоя, так и на описанной лапчанской свите. В состав свиты входят преимущественно темно-серые косослоистые и горизонтальнослоистые песчаники и алевролиты. Значительно реже в ее составе встречаются аргиллиты и угли. Мощность свиты изменяется от 30 до 45 м, а ее возраст определен по богатому комплексу флористических отпечатков, среди которого встречаются: *Martjanowskia angarica* Radcz., *Angarodendron obrutschewii* Zal., *Paracalamites crassus* Gorel., *Ginkgophyllum primaevum* Rassk., *Angaropteridium cardiopteroides* (Schm.) Zal., *Angaridium finale* Neub., *Cordaite latifolius*, *Rufloria derzavini* (Neub.) S. Meyen, *R. Theodorii* (Tchirk. et Zal.) S. Meyen, *R. Tschirkovae* (Zal.) S. Meyen, *R. subangusta* (Zal.) S. Meyen, *Krylovia sibirica* Chachl., *Samaropsis patula* Zal., *S. pumila* Such., *Codaicarpus kovbassinae* Such. По заключению И.М.Машук, данный флористический комплекс свидетельствует о том, что осадконакопление началась в московском веке пенсильванской эпохи, а завершилась в ассельском веке приуральской эпохи.

Ахтарандинская свита (P_1^2 P_4^4) приурочена преимущественно к северной части рассматриваемой территории. Она сложена разнотерригенными песчаниками, переслаивающимися с редкими пластами алевролитов, аргиллитов, туфов, туфопесчаников и углей. Мощность пластов углей колеблется от 0,2 до 1,8 м, а всей свиты от 0 до 20 м. Возраст данных отложений определен по отпечаткам следующей листовой флоры: *Koretrophyllites setosus* Radcz., *Paracalamites planicostatus* Gorel., *P. costatus* Gorel., *Cordaite magnus* (Schwed.) S. Meyen, *Rufloria derzavini* (Neub.) S. Meyen., *Rufloria sibirica* (Radcz.) S. Meyen, *R. theodorii* (Tchirk. et Zal.) S. Meyen, *Crassinervia tunguskana* Shwed., *Cr. primitiva* Rassk., *Evenkiella schortonotensis* Gorel., *Bardocarpus depressus* (Schm.) Neub., *Samaropsis pseudoelegans* Such., *S. onomala* Verb., *Samaropsis skokii* Neub., *Codaicarpus ellipticus* Radcz. Изученные отпечатки растений характерны для отложений, формирование которых началось в сакмарском веке приуральской эпохи, а завершилось в кунгурском.

Боруллойская свита (P_2^1 P_3^3) венчает разрез верхнепалеозойских отложений. Распространена не повсеместно. По литологическому составу она отчетливо делится на две подсвиты: нижнюю — псаммитовую и

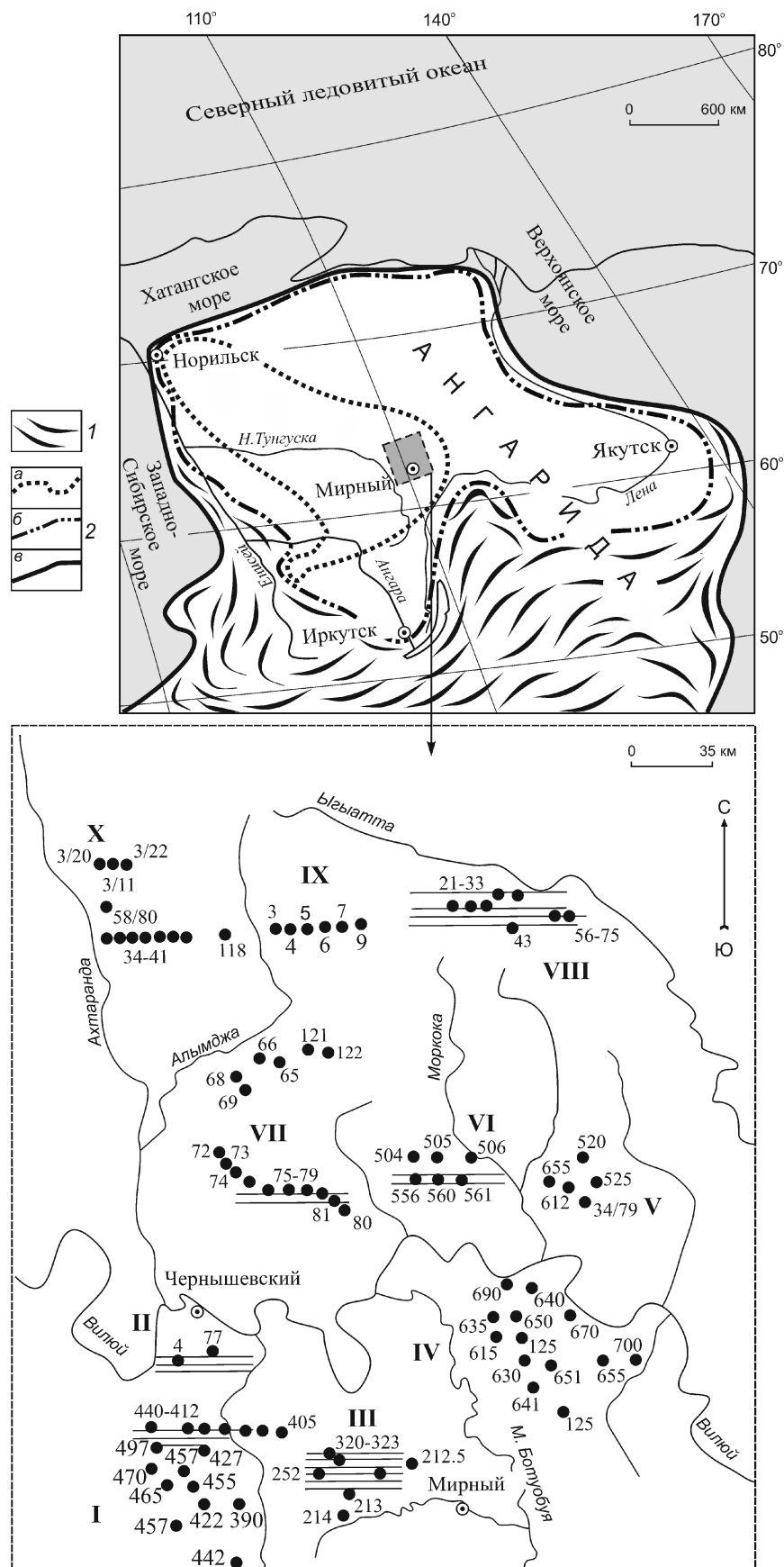


Рис. 1. Ангарида в пермском периоде на фоне фрагмента современного очертания северной части Азии:

1 — горно-складчатые сооружения; 2 — границы: а — Ангарида, б — Сибирской платформы, в — Тунгусского угольного бассейна; на врезке — схема расположения исследованных скважин, их номера и профили; I—X — поисковые площади

верхнюю — алевропелитовую. Полная мощность свиты достигает 80 м. Цвет отложений преимущественно серый или желтовато-серый. В их составе выявлена неясно выраженная горизонтальная слоистость. В составе верхнеборуллойской подсвиты, обнаружены пласты углей мощностью от 0,5 до 7 м. Свита содержит большое количество отпечатков ископаемых растений представленных *Koretrophyllites tenuis* Gorel., *Paracalamites communis* Gorel., *Annularia neuburgiana* (Radcz.) Neub., *Phyllothea turnaensis* Gorel., *Zamiopteris crassinervis* Gorel., *Cordaite gracilentus* (Gorel.) S. Meyen, *C. mediocris* (Gorel.) S. Meyen, *C. singularis* (Neub.) S. Meyen, *C. kuznetskianus* (Gorel.) S. Meyen, *Rufloria arta* (Zal.) S. Meyen, *R. minuta* (Radcz.) S. Meyen, *Crassinervia elliptica* Radcz., *Bardocarpus tunguskaensis* Verb., *Sylvella* sp. Согласно их списочному составу, возраст свиты не выходит за пределы гуадалупской эпохи.

Литологические индикаторы палеоклимата. В миссисипскую эпоху влажность на Ангариде значительно повысилась по сравнению с жаркой тропической позднедевонской эпохой, эпохой красноцветных отложений [3, 4]. Климат приобрел черты сезонности. Об этом свидетельствует кирасовый пласт, повсеместно залегающий в Приангарье, на контакте девонских и каменноугольных отложений. На Чуно-Бирюсинском междуречье относительно мощный 1 м кирасовый «панцирь» бронирует терригенные отложения, а в Канско-Тасеевской впадине его толщина достигает 0,2 м, и он залегает на известняках [5]. По данным химических анализов кираса содержит Fe_2O_3 до 65,8 и Al_2O_3 до 2,3%. Образование кирасы связано с четко выраженной сезонностью, обусловленной чередованием сухого лета и дождливой зимы. Кираса и переотложенные продукты каолиновой коры выветривания (каолинит-халцедоновый горизонт, содержащий пласты флинткля) в основании каменноугольной системы свидетельствуют о субтропическом климатическом режиме, существовавшем во время их накопления.

Пенсильванские аллювиальные и пролювиальные грубообломочные отложения обычно залегают в основании разреза лапчанской свиты и часто содержат различные по размеру обломки кимберлитов, гальку, валуны, а также алмазы и их спутники (пиропы, пикроильмениты, хромшпинелиды). Размер галечного материала в конгломератах от 2,5 до 5 см, а редких валунов до 15 см. Гальки и валуны представляют собой продукт перстративного руслового аллювия. Они состоят преимущественно (в %): из кварца и кварцитов до 35, кремненных доломитов до 25, мергеля до 15, гранитоидов до 15, сланцев до 10, андезитов до 5, а также трахит порфиров до 5.

Завершает разрез трансгрессивная тонкозернистая толща, состоящая из песчаников, алевролитов, аргиллитов и углей. По данным Л.П.Белякова и его коллег [7] во время накопления осадков, произошло проги-

бание исследуемой территории, что вызвало ингрессию омывавшего Ангарида с восточной стороны Верхоянского моря, воды которого затопили речные долины, образовав лагуны, лиманы и заливы почти той же конфигурации, что и эрозионно-тектонические ложбины водотоков.

Накопление ботубобинской свиты происходило в условиях, когда обломочный материал не компенсировал погружавшуюся часть Ангарида. С востока на запад продолжало ингрессировать мелководное море, обусловив на данной территории лагунно-заливную обстановку. Сформировалась почти 50-метровая псаммито-пелитовая толща. Ореолы минералов-спутников алмаза, приуроченные к нижней части ботубобинской свиты, не имеют прямой связи с кимберлитовыми телами, так как их появление, вероятно, связано с размывом и переотложением более древнего алмазосодержащего промежуточного коллектора.

Если в целом оценивать весь комплекс угольных пластов лапчанской и ботубобинской свит, то следует подчеркнуть, что в их образовании участвовали различные части высших растений. Состав углей представлен гелифицированными, фюзенизированными и липоидными компонентами, соотношение которых обусловило пестроту и многообразие их петрографических типов. Это указывает на то, что широкое распространение получили влажные леса, состоящие из древовидных папоротников, кордаитов, птеридосперм. Резко подчиненное значение имели древние хвойные. Исходным растительным материалом при образовании гумусовых углей являлись стволы, кора, стебли, ветви и листья растений. Формирование угольных пластов на изученной территории происходило в малых по глубине прогибах во внутриконтинентальной болотной и озерно-болотной обстановке. Угли всех исследованных пластов содержат слои терригенных пород, которые характеризуются однотипным генетическим составом. Они развивались преимущественно в обводненных лесных болотах низинного типа с кратковременными периодами привноса песчано-алевритового материала. Основная часть углей образовалась автохтонным способом, и только отдельные тонкие их прослои содержат аллохтонный детритовый материал. Мощность таких пачек невелика и составляет 10—30 см. Болота, в которых аккумулировалась основная масса органического материала, характеризовались стабильностью своего развития и восстановительными условиями седиментации. Благодаря этому сформировалась толща органического вещества, способствовавшего образованию протяженных угольных пластов. Относительно кратковременная смена режима обводнения торфяников в сторону его уменьшения способствовала возникновению в углях штриховато-полосчатой структуры вследствие скопления фюзенизированного материала по плоскостям их наслоения. Все уголь-

ные пласты имеют простое строение. Угли матовые, полосчатые. В конце пенсильванской эпохи произошло воздымание территории, сопровождаемое незначительным размывом угленосных отложений. Все это указывает на то что, климатический режим на Ангариде постепенно приобрел все характерные черты климата умеренных широт (среднегодовая температура понизилась, а влажность повысилась).

Пермский период. На границе ботубинской и ахтардинской свит всеми исследователями отмечен размыв, который связан с постепенной перестройкой рельефа, сопровождаемой процессами эрозии и денудации. Относительно интенсивный гидродинамический режим продолжался вплоть до накопления угленосной верхнеборуллойской подсвиты. Это связано с тем, что вся юго-восточная часть Ангарида вновь подверглась дифференцированным тектоническим движениям, которые местами привели к опусканию территории, сопровождаемому заложением многочисленных болот на слабо расчлененном эрозионном рельефе, а на отдельных частях территории — к поднятиям, с которых осуществлялся интенсивный плоскостной смыв осадочных пород.

Литологическими палеоклиматическими показателями пермского периода являются: наличие пластов и линз сидеритов, широкое распространение монтмориллонитовых глин и присутствие скоплений аутигенного пирита. Пермские отложения вмещают от одного до трех угольных пластов мощностью 1,1—1,8 м. Все это свидетельствует о расширении климатического пояса умеренных широт и увеличении степени влажности. Снижение среднегодовой температуры привело к резко выразившейся температурной сезонности климата (зима—лето). Об этом свидетельствуют стволы окаменевших кордаитов, на срезах которых отчетливо видны годовичные кольца (рис. 2).

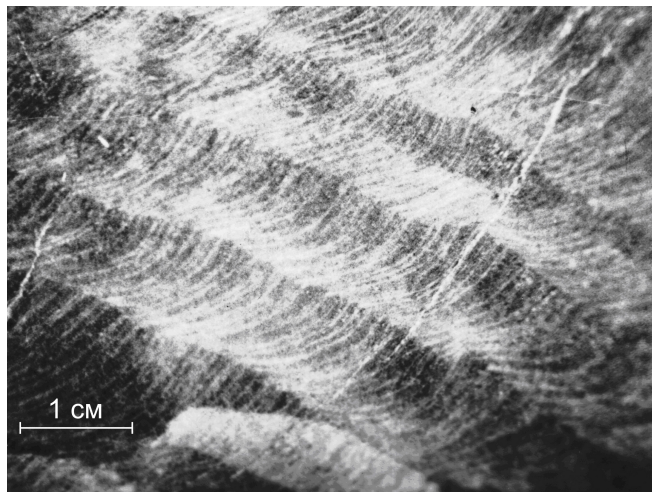


Рис. 2. Годичные кольца на стволе окаменевшего пермского кордаита, обнаруженного в одном из обнажений в среднем течении р. Нижняя Тунгуска, *анилиф*

Палеоботанические индикаторы палеоклимата. Особое внимание при палеоклиматической реконструкции уделялось растительным сообществам и их ориктоценозам. Детальный анализ морфологических особенностей растений позднего палеозоя и их систематического состава, позволил проследить последовательность эволюционных морфологических трансформаций, происходивших в растительном мире в связи с изменением палеоклиматических условий их обитания. Относительно теплый семиаридный климат миссиппской эпохи, способствовал появлению в северо-восточной части Ангарида первой наземной растительности, которая уже через 40 млн. лет своего существования, к началу пенсильванской эпохи, полностью покрывала всю ее территорию.

Ранее считалось, что пенсильванские отложения (лапчанская свита), не содержат определенных отпечатков флоры [17], а проведенные исследования позволили обнаружить хорошо определимые отпечатки флоры. Установлено, что палеогеографические условия пенсильванской эпохи проявились в особенностях их ориктоценозов. Прежде всего, в лапчанской свите встречаются отпечатки и фитолеймы коры лепидофитов, реже отливы внутренней полости их стволов. Основными особенностями анатомического строения стволов лепидофитов являются мощная сердцевина, наличие аэренхимы и многослойной коры. Данные особенности лепидофитов указывают на их произрастание в условиях переувлажненных и заболоченных ландшафтов. Наличие на стволах лепидофитов мощной многослойной коры свидетельствует о незначительном их переносе и быстром захоронении в озерно-болотных условиях. Среди ископаемых растений, обнаруженных в лапчанской свите, обильны отпечатки с прикрепленными к рахисам тонких и нежных вайй птеридоспермов, таких родов как *Rhodea*, *Angaridium* и *Angaropteridium* (рис. 3). Их захоронение происходило в автохтонных условиях в обводненных участках палеобассейна. Совместно с птеридоспермами и семенами *Cordaicarpus* выявлены захоронения мегаспор рода *Aphanozonatisporites*, которые, по-видимому, относились к плауновидным. Материнские растения мегаспор не обнаружены, но данный фитоориктоценоз содержит большое количество растительного детрита. Мегаспоры, выделенные из этих отложений (*Aphanozonatisporites glabratus* Oshurk., *Zonalesporites irelachicus* Mashch.), имеют приспособления для распространения в водной среде — рыхлый наружный слой экзины или широкую кайму по диаметру в виде плотных столбиков, которые были наполнены воздухом (рис. 4). Миоспоры из этих отложений (*Lunatisporites*, *Larwatisporites*, *Lycospora*) имеют также приспособительные признаки для распространения в водной среде. Подобно мегаспорам у них рыхлый наружный слой экзины или широкая пленчатая оторочка.

Все эти признаки свидетельствуют о влажном, умеренно-теплом климате башкирского века и транспор-

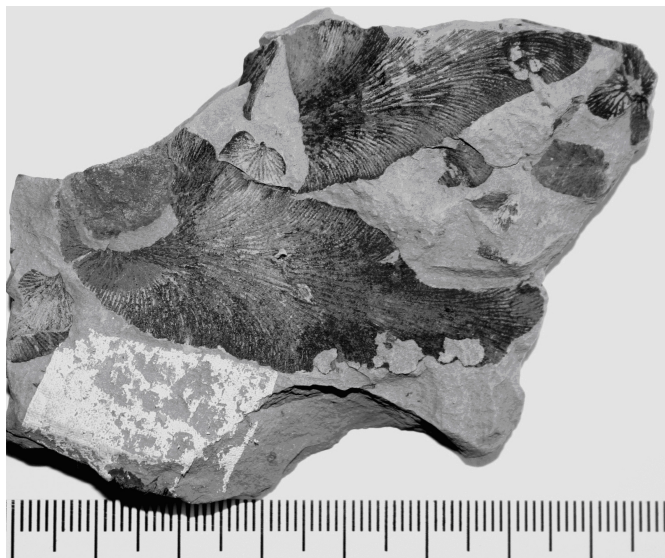


Рис. 3. Опушенная вайя *Angaropteridium ligulatum* Neub:

образец 15/152, поисковая площадь VIII, р.Ыгыатта, скважина 75, глубина 151 м

тировке мегаспор водным путем. Высказанная ранее гипотеза о ледниковом генезисе лапчанской свиты не находит подтверждения как в составе растительных остатков, так и в форме сохранности основных элементов ориктоценоза. Начиная с базальных конгломератов, непосредственно залегающих на нижнепалеозойском субстрате, найдены богатые ориктоценозы, отличающиеся хорошей сохранностью. Ледниковые условия для их захоронения должны быть исключены, так как тонкие вайи и многослойная кора не могли бы при этом сохраниться (рис. 5).

Флора, произраставшая в касимовском веке, была более разнообразной. Появились птеридоспермы родов *Angaropteridium* (до 8 см в диаметре) и *Neuropteris*, имевшими крупные листовые пластинки (рис. 6). Постепенно исчезли плауновидные, но в отдельных случаях они доживали до конца гжельского века. Примером может служить *Angarodendron obrutshevii* Zal., ствольная часть которого постепенно утончалась и перед исчезновением данного вида достигала 2 см в диаметре (рис. 7). Е.С.Рассказова [19] также отмечала присутствие отпечатков этого лепи-

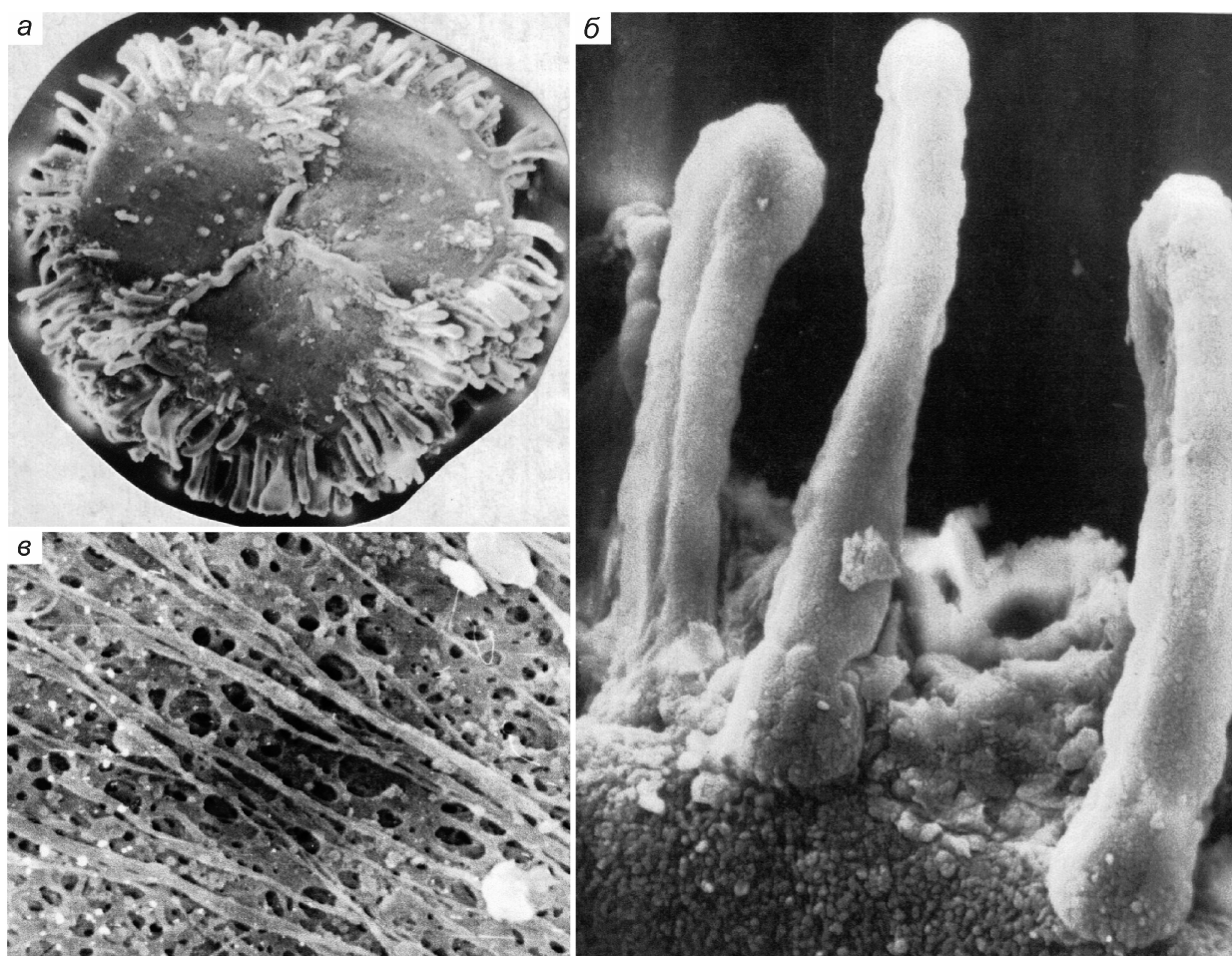


Рис. 4. Морфологические приспособления для передвижения в водной среде мегаспоры *Zonalesporites irelachiuss* Mash:

поисковая площадь IV, р.Малая Ботубуя, скважина 615, глубина 141 м; а — общий вид мегаспоры (100); б — булавовидные образования по краю мегаспоры (750); в — губчатое внутреннее строение мегаспоры (800)



Рис. 5. Тонкие вайи *Rhodea javorskyi* Radzn:

образец 202, поисковая площадь VI, р.Моркока, скважина 561, глубина 97 м

дофита в верхах комплекса каменноугольных отложений на р.Чуна. Это явление, названное в литературе [15] внеэкваториальным персистированием, характерно для Ангарида. Подобное выживание древних морфологических типов свидетельствует о мягкости климата того времени. Показателем оптимальных условий для развития растений является морфологическое разнообразие мегаспор, представленных 9 родами и 56 видами. Материнские растения, продуцировавшие их, большей частью неизвестны. По-видимому, они произрастали на пространствах вблизи водоемов. Наиболее вероятно принадлежность мегаспор к лепидофитам, так как мегаспоры найдены

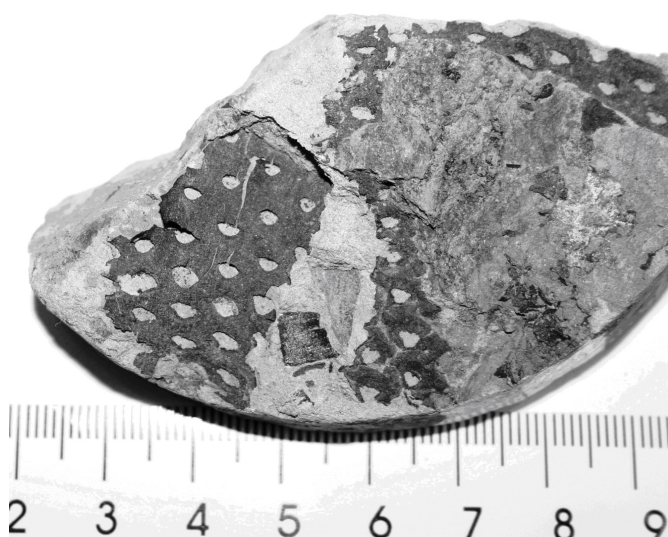


Рис. 7. Мелкие стволы *Angarodendron obrutchevii* Zal:

образец № 196/105, поисковая площадь VI, р.Моркока, скважина 506, глубина 40 м

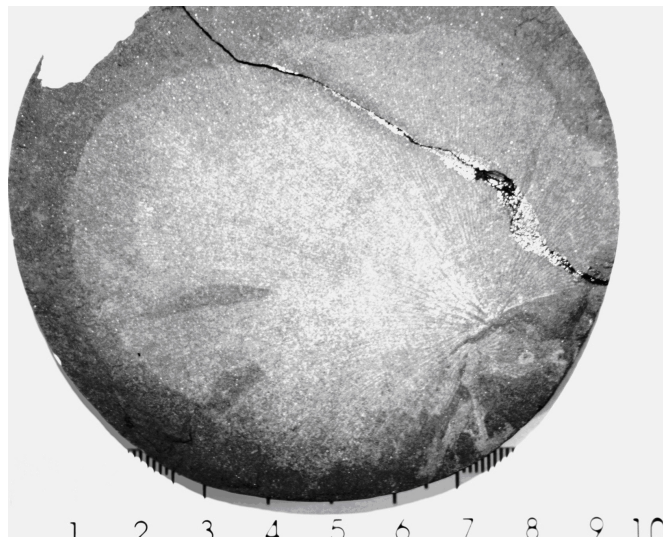


Рис. 6. Крупная листовая пластинка *Angaropteridium cardiopteroides* (Schmal.) Zal:

образец № 324/151, поисковая площадь VI, р.Моркока, скважина 561, глубина 74,5 м

совместно с обильными кутикулами коры *Angarodendron obrutchevii* Zal. Общий план строения палеозойских мегаспор довольно близок к мегаспорам из лепидостробусов, но в районе исследования подобных стробилов не было найдено. Таким образом, мегаспоры, вероятнее всего, продуцировали растения, приспособленные к относительно оптимальной среде произрастания. Морфология мегаспор свидетельствует об их приспособленности к распространению в речных условиях. Мегаспоры достигали 1 см в диаметре, а большая площадь их ареи и наличие волосовидных выростов с несколькими ответвлениями на гладком теле, позволяли им долго держаться на водной поверхности и перемещаться на большое расстояние [13]. Среда обитания и условия захоронения некоторых птеридоспермов, в частности рода *Angaropteridium*, так же были связаны с обводненными зарослями, так как в отложениях совместно с ними не встречаются какие-либо фрутификации. Их размножение происходило вегетативным путем.

Особо нужно рассмотреть вопрос об опушенности некоторых птеридоспермов, таких родов как *Angaridium*, *Angaropteridium*. В Тунгусском угольном бассейне обычно встречаются неопушенные вайи этих растений, однако в Мало-Ботуобинском районе неоднократно встречалась и их опушенная разновидность. У английских птеридоспермов, произраставших в условиях тропического климата вестфальской биогеографической области, отмечено подобное опушение (устное сообщение О.А.Бетехтиной).

В это время появилось обилие семян на плоскостях наложения растений. Ориктоценозы с преобладанием семян перемежаются с ориктоценозами, состоящими из монодоминантных форм листьев кордаитантовых.

Обилие ориктоценозов, сложенных, в основном, листьями кордаитантовых, указывает на наличие сезонности в существовавшем в то время климате. Смена сезонов сопровождалась обильными листопадами, а листва захоронялась в водоемах, по берегам которых они произрастали.

Кроме того, в пенсильванскую эпоху появилась и получила широкое распространение группа руфлорий, которая реагировала на изменение климата особым приспособлением на поверхности листьев. Это, прежде всего, виды *Rufloia*, имеющие дорзальные желобки на листьях, в которых находятся устьица. Устьица погружены в ткань листа на нижней его стороне, что является, возможно, защитным приспособлением, уменьшающим интенсивность транспирации. Кроме того, у некоторых видов наблюдаются папиллы не только в желобках, вмещающих устьица, что усиливало их защитную функцию, но и между желобками. В это же время появляются мегаспоры рода *Tungusosporites* сложного морфологического строения [14]. Они обладают меньшим размером (до 5 мм), поверхность их сжата в морщины и густо покрыта скульптурными выростами. Это связано с недостатком влаги в связи с существовавшими сезонами засухи, так как морщинистая поверхность могла накопить значительно больше влаги, чем гладкая. В это же время начинают распространяться кроющие чешуи у таких родов кордаитантовых как *Lepeophyllum* и *Crassinervia*.

Если сравнивать размеры членистостебельных из каменноугольных отложений с пермскими, то можно увидеть ряд отличий, из которых наиболее важным является то, что вместо толстых стволов *Paracalamites crassus* Goret., появились тонкие стебли *Paracalamites prokopievskiensis* Goret. Общеизвестно, что членистостебельные связаны с болотными условиями, поэтому можно предположить уменьшение заболоченности региона и приспособление растений к условиям недостаточного увлажнения.

Все это подтверждает результаты анализа литологических индикаторов палеоклимата и еще раз указывает на то, что на протяжении всего каменноугольного периода климат был субтропическим, с сезонными колебаниями температуры.

В *приуральскую эпоху* климатические условия изменились и стали менее благоприятными для растений. Степень угленосности отложений резко снизилась. Цвет пород преимущественно светло-серый без значительных прослоев, обогащенных гуминовыми производными, также свидетельствует о неблагоприятных условиях для развития растений. Авторы склонны объяснить это увеличением количества атмосферных осадков в условиях умеренного климата с элементами похолодания. Это привело к тому, что уже в лопингийскую эпоху увеличилось количество мелколистных руфлорий и кордаитесов. Широкое распространение получили кроющие чешуи, а у хвойных

Cyparissidium apressum появились побеги. Значительно изменился размер листьев кордаитантовых данного региона. Их ориктоценозы всюду сложены мелкими листьями и семенами *Tungussocarpus*.

В конце лопингийской эпохи вновь появились условия для угленакопления. В верхней части разреза пермских отложений отмечены пласты угля, а в составе ориктоценозов — крупные стволы *Paracalamites robustus* Zal., что указывает на новый этап увлажнения палеоклимата.

По материалам статьи можно сделать выводы о том, что проведенное исследование однозначно иллюстрирует медленную постепенную последовательность климатических изменений, совершавшихся в течение позднего палеозоя на юго-востоке Ангарида. На фоне постепенного всеобщего похолодания, происходившего в рассматриваемом регионе, отмечена постепенная смена сезонного семиаридного субтропического климата (миссисипская эпоха) семигумидным субтропическим (пенсильванская эпоха), а затем сезонным гумидным климатом умеренных широт (пермский период). Литологические и палеонтологические данные свидетельствуют о том, что в позднем палеозое на Ангарида оледенений не было.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Акулов Н.И. Ангарида как среднепалеозойский материк Северного полушария // Докл. РАН. 2003. Т. 389. № 3. С. 341—344.
2. Акулов Н.И. Алмазоносность Ангарида // Отечественная геология. 2010. № 1. С. 23—28.
3. Акулов Н.И. Осадочные бассейны Ангарида. —Новосибирск: Академическое издательство «ГЕО», 2010.
4. Акулов Н.И., Кашик С.А. Природа окраски девонских пород Сибирской платформы // Бюлл. МОИП. Отд. геол. 1999. Т. 74. Вып. 4. С. 48—53.
5. Акулов Н.И., Кашик С.А., Филева Т.С. Минералогия и геохимия коры выветривания верхнепалеозойских известняков юга Сибирской платформы // Геология и геофизика. 1992. № 4. С. 65—71.
6. Андрианов В.Н., Андрианова В.А. Некоторые данные о ледовом типе литогенеза, о климатическом и температурном режиме осадконакопления верхоянского терригенного комплекса в позднепалеозойское время // Мат-лы по геологии и полезным ископаемым Якутской АССР. —Якутск, 1962. С. 17—32.
7. Беляков Л.П., Михайлов М.В., Ронина Е.Е. Палеогеография верхнего палеозоя Мало-Ботуобинского района // Геология промежуточных коллекторов алмазов. —Новосибирск: Наука, 1994. С. 11—16.
8. Дубатов В.Н., Краснов В.И. Палеоландшафты среднедевонских и франских морей Сибири // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2000. Т. 8. № 6. С. 34—58.
9. Дубатов В.Н., Краснов В.И. Палеоклиматы азиатской части России в девоне. Принципы и методы корреляции полифациальных и разнофациальных отложений. —Новосибирск: Изд-во СНИИГГИМС, 2002.
10. Дуранте М.В. Реконструкция климатических изменений в позднем палеозое Ангарида (на основе фитогеографических данных) // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 1995. Т. 3. № 2. С. 25—37.

11. Клец А.Г. Верхний палеозой окраинных морей Ангарида. —Новосибирск: Академическое издательство «Гео», 2005.
12. Климат в эпохи крупных биосферных перестроек / Под ред. М.А.Семихатова, Н.М.Чумакова. Тр. ГИН РАН. Вып. 550. —М.: Наука, 2004.
13. Мащук И.М. Находки мегаспор из отложений среднего карбона Ангарида // Новости палеонтологии и стратиграфии. 2009. Т. 48. Вып. 9. С. 83—94.
14. Мащук И.М. Морфология позднепалеозойских мегаспор Ангарида // Российский палеоботанический журнал. 2010. № 2. С. 45—54.
15. Мейен С.В. Основы палеоботаники. —М.: Недра, 1987.
16. Михайлов Ю.А., Устрицкий В.И., Черняк Г.Е. и др. Верхнепермские ледово-морские отложения Северо-Востока СССР // Докл. АН СССР. 1970. Т. 190. № 5. С. 20—24.
17. Павлов С.Ф., Кашик С.А., Мазилев В.Н. и др. Позднепалеозойский литогенез на востоке Тунгусского бассейна. —Новосибирск: Наука, 1982.
18. Павлов С.Ф., Ломоносова Т.К., Акулов Н.И. Угленосная формация юго-восточной окраины Тунгусского бассейна. —Новосибирск: Наука, 1990.
19. Рассказова Е.С. Ископаемая флора катской свиты Тунгусского бассейна. —М.: Изд-во АН СССР, 1962.
20. Чумаков Н.М. Закономерности глобальных климатических изменений по геологическим данным // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2004. Т. 12. № 2. С. 7—32.
21. Чумаков Н.М. Причины глобальных климатических изменений по геологическим данным // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2005. Т. 13. № 3. С. 3—25.
22. Чумаков Н.М., Жарков М.А. Климат во время пермо-триасовых биосферных перестроек // Стратиграфия. Геологическая корреляция. Ст. 1. 2002. № 6. С. 62—81. Ст. 2. 2003. № 4. С. 58—75.
23. Gradstein F.M., Ogg J.G., Smith A.G. A geologic time scale 2004. —Cambridge: Cambridge University Press, 2005.
24. Huber B.T., MacLeod K.G., Wing S.L. Warm climates in earth history. —Cambridge: Cambridge University Press. 2000.
25. Lie G. Permo-Carboniferous paleogeography and coal accumulation and their tectonic control in the north and south China continental plates // Int. J. Coal Geol. 1990. Vol. 16. Pp. 73—117.
26. Rees P.M., Gibbs M.T., Ziegler A.M. et al. Permian climates: evaluating model predictions using global paleobotanical data // Geology. 1999. Vol. 27. Pp. 891—894.
27. Rees P.M., Ziegler A.M., Gibbs M.T. et al. Permian phytogeographic patterns and climate date / Model comparisons // Geology. 2002. Vol. 110. Pp. 1—31.
28. Scotese C.R., Langford R.P. Pangea and the Paleogeography of the Permian / The Permian of Northern Pangea. —Berlin: Springer-Verlag, 1995. Vol. 1. Pp. 3—19.
29. Walliser O.H. Global Events in the Devonian and Carboniferous // Global Events and Event Stratigraphy in the Phanerozoic. —N.-Y.: Springer-Verlag, 1996. Pp. 225—251.

Микроструктура и геохимические особенности кайнозойских отложений долины р.Сооли

Т.Г.РЯЩЕНКО, С.И.ШТЕЛЬМАХ (Институт земной коры (ИЗК) СО РАН; 664033, г.Иркутск, ул.Лермонтова, д.128), П.С.БЕЛЯНИН, Н.И.БЕЛЯНИНА (Тихоокеанский институт географии (ТИГ) ДВО РАН; 690041, г.Владивосток, ул.Радио, д.7), С.В.ЛЕСНОВ, В.В.ИВАНОВ (Дальневосточный геологический институт (ДВГИ) ДВО РАН; 690022, г.Владивосток, проспект 100-летия Владивостока, д.159)

Рассматриваются микроструктура и геохимические особенности кайнозойских отложений различных геолого-генетических комплексов, выделенных в верховьях долины р.Сооли (северо-западный склон хр.Сихотэ-Алинь, Хабаровский край) на основе палинологических данных. Параметры микроструктуры определялись по новому методу «микроструктура»; геохимические исследования включали определение содержания некоторых породообразующих оксидов и 18 микроэлементов с расчетами индикаторных коэффициентов. Установлены микроструктурные и геохимические критерии-признаки разновозрастных глинистых отложений биогенного, аллювиального и озерного комплексов. Проведен сравнительный анализ с озерными палеогеновыми глинами из района г.Биробиджан.

Ключевые слова: геолого-генетический комплекс, микроструктура, структурная модель, оксиды, микроэлементы, индикаторные коэффициенты.

Рященко Тамара Гурьевна, ryashenk@crust.irk.ru

Штельмах Светлана Ивановна

Белянин Павел Сергеевич

Белянина Нина Игнатьевна

Леснов Сергей Васильевич

Иванов Владимир Викторович

Microstructure and geochemical properties of Cenozoic deposits of the valley of the Sooli river

T.G.RYASHCHENKO, S.I.SHTELMACH, P.S.BELIANIN, N.I.BELIANINA, S.V.LESNOV, V.V.IVANOV

The paper considers the microstructure and geochemical properties of Cenozoic deposits of various geological and genetic complexes isolated in the upper valley of the Sooli river (north-western slope of the Sikhote-Alin, Khabarovsk Krai) based on palynological data. Microstructure parameters were determined by the new «microstructure» method. Geochemical studies included determination of some rock-forming oxides and 18 micro-elements content including calculation of indicator ratios. Microstructural and geochemical criteria of different-aged clay deposits of biogenic, alluvial and lacustrine systems were established. Comparative analysis with the paleogene lacustrine clays from Birobidzhan area was carried out.

Key words: geological-genetic complex, microstructure, structural model, oxides, microelements, indicator ratios.

В последнее время получены новые результаты, позволившие существенно дополнить и уточнить представления о строении, микроструктуре и геохимических особенностях кайнозойских отложений различных геолого-генетических комплексов (ГГК) северного сегмента Западного Сихотэ-Алиня. Они связаны с геологоразведочными работами в пределах Право-Соолийского рудно-россыпного узла, на юге Сооли-Тормасинского рудного района [12, 13, 14]. Сооли-Тормасинский потенциально рудный район площадью 600 км² принадлежит к Западно-Сихотэ-Алинской структурно-формационной зоне Сихотэ-Алинской геосинклинальной складчатой системы. В структурном плане она

находится в пределах Западно-Сихотэ-Алинского синклиория, на складчатые структуры которого наложены образования одноименной вулканогенной зоны, прослеживающейся вдоль Центрального Сихотэ-Алинского разлома на 300 км при ширине 20—45 км. Данный рудный район находится на отрезке между нижними течениями рек Хор и Анжуй и приурочен к центральной части Западно-Сихотэ-Алинской вулканогенной зоны [2, 4]. Положение района в зоне влияния крупного регионального глубинного разлома — одна из наиболее важных его особенностей.

В верхнем течении р.Сооли (северо-западный склон хр.Сихотэ-Алинь), в районе руч.Болотистый в

пределах цокольной террасы С.В.Леснов изучил два разреза глубиной 5—6 м, где отобрал образцы, представляющие озерный, аллювиальный и биогенный генетические типы отложений.

Палинологические исследования. Образцы из этих разрезов изучались Н.И.Беляниной. Полученные результаты позволили установить возрастной индекс отложений и реконструировать палеогеографическую обстановку осадконакопления (рис. 1).

Озерные отложения, образующие цоколь террасы (разрез 2, интервал опробования 4,5—5,0 м), представлены литифицированной глиной, серой, плотной, илистой со слабо обугленными древесными остатками. Из образцов выделен палинокомплекс, в котором доминирует пыльца голосеменных растений (в %): *Picea* 20—22, *Tsuga* sp. 5,4—17,4, *Pinus s/g Haploxyton* 9,4—34,5. Группа покрытосеменных представлена преимущественно умеренными и тепло-умеренными растениями, в ней относительно больше пыльцы (в %): *Fagus* sp. 11,0—16,1, *Juglans* sp. 0,7—5,4, *Pterocarya* sp. 0,8—3,4, *Juglandaceae* 3,1—6,7. Присутствуют пыльцевые зерна (в %): *Carpinus* sp. 1,5, *Betula* sp. 1,3—1,5, *Alnus* sp. 4,6, *Ulmus* 2,0—4,6, *Celtis* 0,8, *Acer* 0,8. Спорадически отмечается пыльца монотипного вида *Eucommia* sp., *Aralia* sp. Состав палиноспектров характеризует климатические условия теплее современных. Подобные палиноспектры выделены из отложений межбазальтовых слоев Ивановской депрессии (Приморье). Возраст этих отложений датирован второй половиной позднего миоцена—плиоцена ($N_1^3 - N_2$) [7].

Из аллювиального комплекса разреза 1 (глубина образца 4,8 м) получен палиноспектр, в котором преобладают пыльцевые таксоны древесных форм растений (66,5%). Доминирует пыльца хвойных растений южно-бореальной тайги (в %): *Abies* sp. 1, *Picea* sp. 4, *Pinus s/g Haploxyton* 5,3, *Larix* sp. 1. В этой группе присутствуют пыльцевые зерна мелколиственных растений (в %): *Betula* sect. *Nanae* 12,8, *Betula* sp. 3, *Alnus* sp. 6,9, *Duschekia* 4,2. Отмечаются в небольшом количестве пыльцевые зерна *Quercus mongolica* Fisch. ex Ledeb.

Травы представлены пыльцой мезофильных растений: *Cyperaceae*, *Asteraceae*, *Apiaceae*, *Ranunculaceae*. В группе споровых растений преобладают споры мхов *Sphagnum* (85,7%). В этой группе присутствуют споры *Selaginella* sp., *Osmunda* sp., *Lycopodium* sp.

Палиноспектры отображают развитие елово-пихтовых и лиственничных лесов с участием кедровой сосны. Присутствие пыльцы кустарниковых форм березы *Betula* sect. *Nanae* и сфагновых мхов свидетельствует о развитии сфагновой марии.

Следовательно, образование отложений происходило в климатических условиях интерстадиальной фазы позднего неоплейстоцена (Q_3^2).

Из толщи биогенных отложений (торфянистый алеврит, торф бурый, слабо разложившийся, с древесными

стволами, глубина образца 1,6 м) выделен палиноспектр, в котором ведущее положение занимает пыльца *Picea* 71%. Присутствуют пыльцевые таксоны представ-

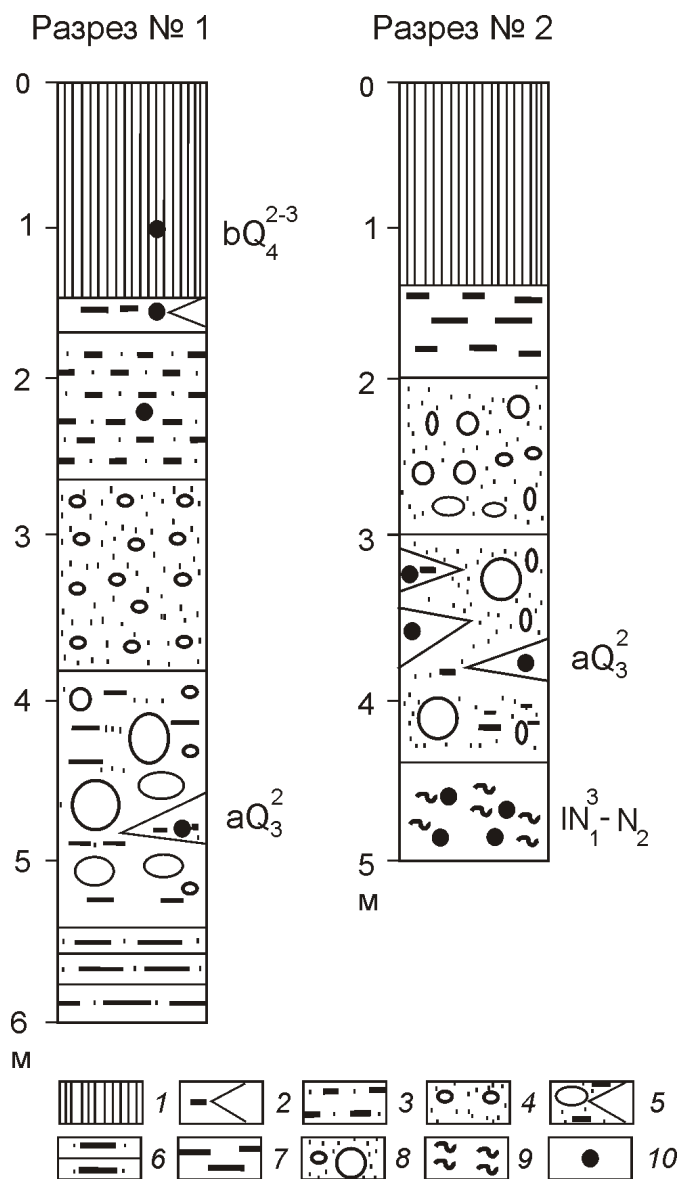


Рис. 1. Разрезы в долине руч.Болотистый, составители С.В.Леснов, Н.И.Белянина:

1 — торф бурый, слабо разложившийся с древесными стволами; 2 — линзы илов в нижней части залегания слабо разложившегося бурового торфа; 3 — илы серые, зеленовато-серые, плотные, с корнями растений; песчано-гравийно-галечный материал; 4 — серый, слоистый, мелкогалечный, промытый, 5 — серый, буровато-серый, илистый, с линзами илов, с валунами размером до 0,3—0,4 м; 6 — аргиллиты темно-серые со слабо сохранившимися растительными остатками (обугленными), на дневной поверхности рассыпаются на мелкие кусочки; 7 — илы зеленовато-серые, плотные; 8 — песчано-гравийно-галечный материал буровато-серый, мелкогалечный, промытый, с редкими валунами; 9 — глина серая, плотная, илистая, иногда со слабо обугленными древесными остатками, с окатышами светло-серого цвета; 10 — места отбора образцов

вителей южно-бореальной тайги: *Pinus koraiensis* Siebold et Zucc. и *Abies*. В группе пыльцы мелколиственных пород исчезает пыльца кустарниковой березы, увеличивается количество пыльцы неморального рода *Quercus* и *Ulmus*. Появляется пыльца ореха маньчжурского и липы. Среди спор увеличивается количество таксонов мхов *Sphagnum* до 46,8%.

Полученные результаты позволяют сделать вывод о времени образования торфа. Начало торфообразования соответствует конечной оптимальной фазе среднего голоцена Q_4^{2-3} . Верхняя пачка торфяной залежи (глубина 1 м) образовалась в позднем голоцене.

Таким образом, объектами исследований оказались кайнозойские отложения, объединяющие биогенный (bQ_4^{2-3}) и аллювиальный (aQ_3^2) четвертичные комплексы террасы, а также озерный неогеновый комплекс цоколя террасы (IN_1^3 N_2).

Методы определения параметров микроструктуры и геохимических особенностей отложений. Лабораторные исследования проводились в Аналитическом центре Института земной коры РАН, в который были переданы девять воздушно-сухих образцов илов и глин из указанных разрезов. Возраст отложений принимался по палинологическим данным (см. рис. 1). Цель исследований, проведенных по представленным объектам, заключалась в том, чтобы установить критерии различия между отложениями выделенных геолого-генетических комплексов кайнозоя по микроструктурным параметрам и геохимическим особенностям. Кроме того, проведен их сравнительный анализ с озерными палеогеновыми глинами, которые изучались в районе г. Биробиджан [11, 16].

Изучение **микроструктуры** отложений [10] основано на результатах гранулометрического анализа грунта, который выполняется пипеточным способом с тремя вариантами подготовки образца: агрегатной (взбалтывание в воде — разрушаются только водонеустойчивые агрегаты), стандартной (кипячение с аммиаком — происходит частичное разрушение агрегатов) и дисперсной (кипячение с пирогосфатом натрия — достигается максимальное разрушение агрегатов), затем рассчитываются коэффициенты микроагрегатности для шести фракций (размерность в мм): крупно-среднепесчаной 1,00—0,25, тонко-мелкопесчаной 0,25—0,05, крупнопылевой 0,05—0,01, мелкопылевой 0,010—0,002, грубоглинистой 0,002—0,001 и тонко-глинистой 0,001. Коэффициент микроагрегатности — это разность содержаний фракций, полученных при дисперсной и агрегатной подготовке образца к анализу. Его значения с отрицательным знаком показывают количество агрегатов соответствующей размерности (содержание фракции уменьшается за счет разрушения этих агрегатов), с положительным — содержание фракции в составе агрегатов (при их разрушении частицы меньших размеров освободились и составили «прибавку» соответствующей фракции). Далее ведутся специальные расчеты для получения параметров

микроструктуры отложений. В зависимости от количества агрегатов (A , %) определяется тип микроструктуры: $A = 10$ — скелетная, $10 < A < 25$ — агрегированно-скелетная, $25 < A < 40$ — скелетно-агрегированная, $A = 40$ — агрегированная. Для выявления типа структурной модели отложений (лёссовых грунтов) определяется сумма агрегатов и первичных частиц соответствующего размера (A_i M_i) и рассчитывается коэффициент элементарности, показывающий долю первичных частиц в общей сумме структурных элементов $G M_i / (A_i M_i)$. Тип структурной модели устанавливается по двум позициям: размеру преобладающих структурных элементов и коэффициенту элементарности.

Кроме того, по стандартным методикам [5] определялись содержания компонентов, формирующих структурные связи, к числу которых относятся карбонаты, подвижные формы оксида алюминия (данные химического анализа солянокислой и щелочной вытяжки отложений) и гумус. Для характеристики физико-химической активности илистых суглинков и глин проводилось определение емкости катионного обмена с применением красителя метиленового голубого [6].

Геохимические особенности. В образцах изучались концентрации некоторых пороодообразующих оксидов (CaO , TiO_2 , MnO , Fe_2O_3 общ) и 18 микроэлементов (V , Cr , Ba , La , Ce , Nd , Nb , Zr , Y , Sr , Rb , Co , Ni , Cu , Zn , Pb , As , Sn). Использовался метод рентгенофлуоресцентного анализа [8, 9]. Пробы растирались в виде порошка (масса 4—6 г) и помещались в стандартные кюветы фирмы Брукер с тонким майларовым дном. Определения выполнялись на энергодисперсионном спектрометре с поляризатором и сканирующем спектрометре PIONEER фирмы Bruker. Определяемые содержания химических элементов составляют значения от нескольких ppm (ppm 0,0001%) до 100%.

Результаты и их обсуждение. Результаты исследований рассматриваются в соответствии с выделенными геолого-генетическими комплексами отложений, для каждого из которых сначала анализируются микроструктурные особенности, затем геохимические.

Особенности микроструктуры. Биогенный комплекс отложений (bQ_4^{2-3}) по данным стандартной гранулометрии представлен суглинками (M_c^1 M_c^2 15,8—22,8%) пылевыми (M_n^1 M_n^2 46,4—47,2%) (табл. 1). Установлены следующие параметры микроструктуры этих суглинков: они содержат 22,0—31,6% агрегатов преимущественно крупнопылевых или тонко-мелкопесчаных размеров, имеют агрегированно-скелетный или скелетно-агрегированный тип микроструктуры; их реальная глинистость (M^8) незначительно отличается от стандартной, о чем свидетельствует небольшой коэффициент глинистости 1,1—1,5 (табл. 2). Среди первичных частиц преобладают тонко-мелкопесчаные (M^2), являющиеся полностью свободными (F^2 100%). Основным

«строительным материалом» для агрегатов оказываются тонкоглинистые (0,001 мм) частицы, так как их коэффициент свободы F^6 составляет 14—18% (см. табл. 2).

Тип структурной модели отложений — тонко-мелкопесчаный элементарный (преобладают свободные структурные элементы) или смешанный (присутствуют агрегаты и свободные частицы) (см. табл. 2).

Общее содержание карбонатов составляет 6,7—11,7%, при этом ведущими являются магниевые и железистые разновидности; содержание подвижных форм оксида алюминия высокое; отложения обогащены гумусом (5,3—8,3%), отличаются максимальными значениями емкости катионного обмена (89—102 мг-экв на 100 г вещества) и кислой реакцией среды (табл. 3).

1. Результаты гранулометрического анализа отложений

Образец; глубина (м)	ГГК	M ¹ _{nc}	M ² _{nc}	M ¹ _n	M ² _n	M ¹ _n M ² _n	M ¹ _c	M ² _c	M ¹ _c M ² _c
Разрез №1									
П4; 1,5	bQ ²⁻³ ₄	2,0	40,8	40,5	10,1	50,6	2,2	4,4	6,6
		1,2	28,8	33,8	13,4	47,2	5,7	17,1	22,8
		0,8	34,0	28,1	12,6	40,7	0,6	23,9	24,5
П3; 2,2	bQ ²⁻³ ₄	16,5	49,5	25,4	5,1	30,5	0,7	2,8	3,5
		12,9	24,9	26,0	20,4	46,4	5,1	10,7	15,8
		4,4	30,0	29,6	12,6	42,2	3,9	19,5	23,4
П2; 4,8	aQ ² ₃	11,2	41,9	37,4	3,8	41,2	1,4	4,3	5,7
		8,2	36,1	29,0	16,3	45,3	1,7	8,7	10,4
		7,6	24,3	22,5	12,2	34,7	4,0	29,4	33,4
Разрез №2									
П7; 3,2	aQ ² ₃	12,4	35,7	30,9	13,0	43,9	1,6	6,4	8,0
		12,1	31,9	25,2	17,2	42,4	3,9	9,7	13,6
		10,4	28,5	25,2	14,1	39,3	3,1	18,7	21,8
П8; 3,6	aQ ² ₃	3,0	48,9	35,8	8,6	44,4	0,6	3,1	3,7
		1,7	29,2	29,7	24,0	53,7	6,0	9,4	15,4
		1,3	21,9	36,1	13,3	49,4	4,2	23,2	27,4
П9; 3,8	aQ ² ₃	2,7	40,4	37,1	12,7	49,8	1,2	5,9	7,1
		0,9	25,8	35,2	23,0	58,2	3,1	12,0	15,1
		0,5	27,7	29,0	16,7	45,7	3,6	22,5	26,1
П11; 4,5	IN ³ ₁ N ₂	1,5	51,1	25,7	10,7	36,4	5,4	5,6	11,0
		1,0	15,4	23,2	22,4	45,6	18,1	19,9	38,0
		0,7	2,9	28,7	22,1	50,8	9,8	35,8	45,6
П10; 4,7	IN ³ ₁ N ₂	5,2	35,8	31,0	15,5	46,5	5,1	7,4	12,5
		4,8	20,1	29,6	25,5	55,1	7,8	12,2	20,0
		3,0	24,6	8,1	29,2	37,3	7,5	27,6	35,1
П6; 5,0	IN ³ ₁ N ₂	2,0	24,0	28,1	23,8	51,9	6,9	15,2	22,1
		1,5	13,0	25,1	30,8	55,9	9,4	20,2	29,6
		1,3	9,7	14,9	32,2	47,1	8,5	33,4	41,9

Примечание: Результаты анализа (содержание фракций, в %) с подготовкой образца: первая строка — агрегатной, вторая строка — полудисперсной (стандартная), третья строка — дисперсной; размеры фракций (в мм): M_{nc}^1 — средне-крупнопесчаная (1,00—0,25), M_{nc}^2 — тонко-мелкопесчаная (0,25—0,05), M_n^1 — крупнопылевая (0,05—0,01), M_n^2 — мелкопылевая (0,010—0,002), M_c^1 — грубоглинистая (0,002—0,001), M_c^2 — тонкоглинистая (0,001); общее содержание фракций: M_c^1 M_c^2 — грубоглинистой и тонкоглинистой, M_n^1 M_n^2 — крупнопылевой и мелкопылевой.

2. Типы микроструктуры и структурной модели отложений

Образец; глубина (м); генетический тип	A, %	Тип микроструктуры	Тип структурной модели отложений	M ⁷	F ⁶	M ⁸
П4; 1,5; b	22,0	Агрегированно-скелетная	X ² 40,8 G ² 83 тонко-мелкопесчаный, элементарный	23,9	18	24,5
ПЗ; 2,2; b	31,6	Скелетно-агрегированная	X ² 49,5 G ² 61 тонко-мелкопесчаный, смешанный	19,5	14	23,4
П2; 4,8; a	36,1		X ² 41,9 G ² 58 тонко-мелкопесчаный, смешанный	29,4	15	33,4
П7; 3,2; a	14,9	Агрегированно-скелетная	X ² 35,7 G ² 81 тонко-мелкопесчаный, элементарная	18,7	34	21,8
П8; 3,6; a	28,7	Скелетно-агрегированная	X ² 48,9 G ² 45 тонко-мелкопесчаный, смешанный	23,2	13	27,4
П9; 3,8; a	23,0	Агрегированно-скелетная	X ² 40,4 G ² 69 тонко-мелкопесчаный, смешанный	22,5	26	26,1
П11; 4,5; l	49,0	Агрегированная	X ² 51,1 G ² 6 тонко-мелкопесчаный, агрегированный	35,8	16	45,6
П10; 4,7; l	36,3	Скелетно-агрегированная	X ² 35,8 G ² 69 тонко-мелкопесчаный, смешанный	27,6	27	35,1
П6; 5,0; l	28,2		X ³ 28,2 G ³ 53 крупнопылеватый, смешанный	33,4	46	41,9

Примечание. a — аллювиальный, b — биогенный, l — озерный; A — общее количество агрегатов; содержание (в %) структурных элементов (агрегатов и первичных частиц): X² — тонко-мелкопесчаных, X³ — крупнопылеватых; G² и G³ — коэффициент элементарности, показывающий долю (в %) первичных частиц в сумме структурных элементов; содержание частиц (в %) — первичных и в составе агрегатов — различных размеров: M⁷ — 0,001 и M⁸ — 0,002 мм (реальная глинистость); F⁶ — коэффициент свободы этих частиц.

Аллювиальный комплекс отложений (aQ₃²) в соответствии с данными стандартной гранулометрии (см. табл. 1) также представлен суглинками (M_c¹ M_c² 10,4—15,4%) пылевыми (M_n¹ M_n² 45,3—53,7%), но более агрегированным (содержание агрегатов в среднем 25,7%, поэтому тип микроструктуры скелетно-агрегированный; коэффициент глинистости также выше — 1,4—3,2). Среди агрегатов

первое место занимают тонко-мелкопесчаные, в среднем (по четырем образцам) они составляют 16% (см. табл. 2).

Первичные частицы примерно в равных количествах представлены тонко-мелкопесчаными и крупнопылевыми, соответственно 25,6 и 28,1%, все они являются свободными и к агрегатам никакого отношения не имеют. Реальная (общая) глинистость не-

3. Карбонаты, подвижный оксид алюминия, гумус, физико-химическая активность отложений

Образец; глубина (м); генетический тип	CaCO ₃	MgCO ₃	FeCO ₃	S _{кр}	Al ₂ O ₃ [*]	C _{орг}	ЕКО	pH
П4; 1,5; b	2,00	3,05	1,61	6,66	14,39	8,25	101,7	5,35
ПЗ; 2,2; b	2,99	3,05	5,64	11,68	18,21	5,30	89,1	5,55
П7; 3,2; a	2,99	Не обн.	1,45	4,44	19,58	2,85	5,24	6,60
П8; 3,6; a	3,98	0,76	2,01	6,75	16,55	7,65	15,72	6,75
П9; 3,8; a	3,98	0,76	5,72	10,46	14,52	8,70	68,12	6,25
П11; 4,5; l	2,99	1,52	3,62	8,13	8,23	7,70	26,20	6,80
П10; 4,7; l	4,98	1,52	11,27	17,77	Не обн.	Не обн.	47,16	6,50
П6; 5,0; l	5,98	0,76	11,59	18,33	13,60	8,55	36,68	6,35

Примечание. S_{кр} — общее содержание карбонатов; Al₂O₃^{*}, C_{орг} — содержание подвижного оксида алюминия, гумуса; ЕКО — емкость катионного обмена, мг-экв на 100 г вещества.

сколько выше, чем в биогенном комплексе (в среднем 27,1%). Кто участвует в строении агрегатов? По величине коэффициентов свободы (чем меньше коэффициент, тем больше этих частиц находится в агрегатах) первое место занимают тонкоглинистые частицы (F^6 22 %), затем следуют грубоглинистые (4%) и мелкопылеватые (66%).

Тип структурной модели отложений аллювиально-го комплекса — тонко-мелкопесчаный, преимущественно смешанный (преобладающие структурные элементы размером 0,25—0,05 мм представлены агрегатами и свободными частицами) (см. табл. 2).

Общее количество карбонатов аналогично биогенному комплексу, но состав их иной — почти нет $MgCO_3$, несколько выше содержание $CaCO_3$; также много подвижных форм оксида алюминия; отложения обогащены гумусом 2,9—8,7%, емкость их катионного обмена изменяется в широких пределах от 5,2 до 68,1 мг-экв (здесь, по-видимому, проявляется влияние гумуса); кислотность среды снижается рН 6,25—6,60 (см. табл. 3).

Итак, четвертичные отложения молодого биогенного и более древнего аллювиального комплексов — это пылеватые суглинки (по данным стандартной гранулометрии), которые имеют скелетно-агрегированную или агрегированно-скелетную микроструктуру ($A=14,9—36,1$ %), тип структурной модели тонко-мелкопесчаный смешанный, реже элементарный. Они содержат (в %) значительное количество карбонатов 4,4—11,7; подвижных форм оксида алюминия 14,39—19,58 и гумуса 2,85—8,70, характеризуются кислой реакцией среды (рН 5,35—6,75). В то же время установлены некоторые различия по степени агрегированности, размерам агрегатов и их строению, величине первичных (свободных) частиц, составу карбонатных солей, физико-химической активности и степени кислотности среды.

Озерный комплекс отложений (IN_1^3 N_2) по стандартной гранулометрии представляет собой глины (M_c^1 M_c^2 20,1—38,0%) пылеватые (M_n^1 M_n^2 45,6—55,9%) (см. табл. 1). Отметим, что согласно классификации [3] в дочетвертичных отложениях не выделяются супеси и суглинки, следует идентифицировать только глины, глины песчанистые и песчаные. Исследованные глины характеризуются максимальным содержанием агрегатов (A 28,9—49,0%), поэтому тип их микроструктуры скелетно-агрегированный и агрегированный (см. табл. 2). Среди агрегатов преобладают тонко-мелкопесчаные и крупнопылеватые разновидности; первичные частицы с коэффициентом свободы 90—100% относятся к тонко-мелкопесчаным и крупнопылевым разновидностям, отмечается повышенное содержание (10,7—23,8%) первичных мелкопылеватых частиц; по сравнению с четвертичными отложениями возрастает количество грубоглинистых фракций (5,1—6,9%). Установлена высокая реальная глинистость (35,1—45,6 %) за счет

тонкоглинистых фракций, которые находятся в агрегатах и частично в свободном состоянии (коэффициент глинистости поэтому составляет всего 1,2—1,8). По величине коэффициентов свободы фракций можно заключить, что в строении агрегатов принимают участие: тонко-глинистые (F^6 16—46%), мелкопылеватые (48—74%) и грубоглинистые (55—81%) частицы (см. табл. 2).

Тип структурной модели озерных отложений — тонко-мелкопесчаный и крупнопылеватый, смешанный и агрегированный (см. табл. 2).

Агрегированные глины отличаются высоким содержанием карбонатов 8,13—18,33%, среди которых преобладают железистые и кальциевые соли; в них снижается содержание подвижных форм оксида алюминия до 13,6%, отмечается невысокая физико-химическая активность (ЕКО 26,2—47,2 мг-экв); реакция среды слабокислая рН 6,4—6,8 (см. табл. 3).

Таким образом, для более древнего озерного комплекса установлены следующие особенности: максимальная агрегированность, присутствие агрегатов тонко-мелкопесчаных и крупнопылеватых, пониженное содержание первичных крупнопылеватых частиц и, наоборот, повышенное количество мелкопылеватых и грубоглинистых разновидностей, участие в строении агрегатов трех видов фракций, высокая карбонатность с преобладанием железистых солей, снижение количества подвижных форм оксида алюминия; величина физико-химической активности в среднем составляет 38 мг-экв на 100 г вещества.

Такие особенности как высокая агрегированность, повышенное содержание мелкопылеватых и грубоглинистых первичных (свободных) частиц, разнообразие фракций, участвующих в формировании агрегатов, были установлены при изучении озерных палеоген-неогеновых глин в районе г.Биробиджан (инженерно-геологические скважины глубиной 10—12 м) и плейстоценовых глинистых осадков оз.Байкал (район Академического хребта, интервал отбора проб 100 см) [10].

Можно предположить, что это общие особенности микроструктуры озерных комплексов. Формирование агрегатов могло происходить на стадии седиментогенеза, когда в озерном водоеме осаждались различные тонкие фракции, которые затем при диагенезе участвовали в создании агрегатов за счет карбонатов, аморфных полуторных оксидов (их содержание в глинах по данным солянокислой вытяжки составляет 5,10—8,65%) и, возможно, гумуса. Постдиагенетические изменения привели к частичной литификации глинистых осадков, что, естественно, не произошло с глинами верхнечетвертичного аллювиального комплекса и тем более с молодыми биогенными илами.

Агрегаты в биогенном комплексе, по-видимому, формировались на стадии диагенеза под воздействием различных физико-химических процессов, активную роль при этом играли гумус, подвижные формы

оксида алюминия и аморфные полуторные оксиды; в аллювии, возможно, в создании агрегатов участвовали постдиагенетические криогенные процессы.

Присутствие макропор в кайнозойских отложениях изученных разрезов связано, вероятнее всего, с криогенными воздействиями (в верхней части — это сезонное промерзание-оттаивание, в нижней, возможно, это следы деградации островной многолетней мерзлоты). Макропоры были обнаружены в отложениях биогенного, аллювиального и озерного комплексов при детальном визуальном просмотре воздушно-сухих образцов, которые поступили в Институт земной коры для аналитических исследований. Это были мелкие углубления (так называемые «недоразвитые» макропоры), иногда более крупные с равными краями или каналцы; некоторые образцы озерных литифицированных глин (их можно разбить только молотком) настолько были изрезаны недоразвитыми макропорами, что напоминали пемзу.

Геохимические особенности. Установлено, что озерные литифицированные глины ($IN_1^3 N_2$) по сравнению с четвертичными отложениями биогенного и аллювиального комплексов содержат значительно больше оксидов железа и отличаются высокими значениями индикаторного коэффициента Mn/Fe (табл. 4).

4. Содержание оксидов (в %) в отложениях различных ГГК

ГГК	CaO	TiO ₂	MnO	Fe ₂ O ₃ общ	Mn/Fe
bQ ₄ ²⁻³ (n 2)	0,95—1,17	2,06—2,09	0,041—0,058	5,87—8,01	0,0077—0,0079
aQ ₃ ² (n 4)	1,26—1,44	1,91—2,17	0,033—0,089	4,20—8,00	0,0057—0,0120
IN ₁ ³ N ₂ (n 3)	0,73—2,03	1,39—2,14	0,050—0,824	6,36—11,08	0,0088—0,0820

Примечание. n — число образцов.

Среди микроэлементов во всех геолого-генетических комплексах находятся (в ppm): на первом месте Ba 594—940, далее следуют Sr 120—345 и Zr 201—329. Содержание токсичных элементов (Zn, Co, Ni, Cu, Pb, As, Sn) в сумме составляет (в ppm): в отложениях биогенного комплекса 232—309 (преобладают Ni, Zn, Cu), аллювиального 180—370 (преобладают Zn, Ni, Cu) и озерного 269—436 (преобладают Ni, Zn, Cu) (табл. 5). Следовательно, максимальная «токсичность» зафиксирована для озерных неогеновых литифицированных глин.

При сравнении концентраций токсичных элементов в литифицированных глинах и глинистых отложениях (aQ₃) с кларковыми значениями по А.П.Виноградову [1] выявлены значительные превышения (рис. 2).

Наибольшие отношения концентраций микроэлементов к кларкам установлены (в ppm): для As 6,47—7,06, Pb 2,56—3,63, Co 1,61—1,67, Sn 1,6, а также Ni 2,07, Cu 1,30 в озерных литифицированных

глинах. Для Zn зафиксированы наименьшие значения 0,98—1,14 ppm.

Итак, «главные» элементы для всех исследованных кайнозойских отложений — Ba, Sr, Zr. Рассмотрим распределение остальных, а именно лантаноидов (La, Ce, Nd), ванадия и хрома, а также группу, в состав которой входят ниобий, иттрий и рубидий (см. табл. 5).

Сумма лантаноидов (в ppm): для биогенного комплекса 138—178, аллювиального 163—222, озерного 154—193; всюду преобладает церий 78—119 ppm. Наибольшая суммарная концентрация ванадия и хрома отмечается (в ppm): в озерных глинах 353—471, наименьшая — в отложениях биогенного комплекса 321—348; при этом ванадий — преобладающий элемент 174—294 ppm. Суммарные концентрации элементов (в ppm) третьей группы (ниобий, иттрий, рубидий) распределяются следующим образом: в биогенном комплексе 109—125, аллювиальном 130—196, озерном 110—164, первое место занимает рубидий 59—124.

При сравнении суммарного содержания элементов трех выделенных групп (лантаноиды; ванадий, хром, ниобий, иттрий, рубидий) можно заключить, что в исследованных кайнозойских отложениях нет четких различий по этому признаку — для всех комплексов

отмечается высокое содержание (в ppm): ванадия и хрома 316—471, далее следуют лантаноиды 138—222 и группа ниобия 109—196, ведущие редкие микроэлементы в указанных группах — ванадий, церий и рубидий.

Некоторые отличительные черты заметны в аллювиальных глинах, для которых характерно повышенное содержание лантаноидов и рубидия, в озерных литифицированных глинах наблюдается максимальная концентрация ванадия, в биогенных илах отмечается снижение указанных компонентов.

Рассчитанные индикаторные отношения (индикаторные коэффициенты) Ca/Sr (K1), Sr/Ba (K2), Rb/Sr (K3), V/Zn (K4), La/V (K5), Ti/Zr (K6) позволили установить общие геохимические особенности кайнозойских отложений, а также их различия (табл. 6).

Индикаторный коэффициент K1 во всех случаях принимает значения 100, что связано с низкими концентрациями оксида кальция. К числу общих осо-

5. Содержание микроэлементов (ppm) в отложениях различных ГТК

V	Cr	Ba	La	Ce	Nd	Nb	Zr	Y
1	2	3	4	5	6	7	8	9

bQ_4^{2-3} — илы (n 2)

180—190	141—158	794—928	34—48	78—100	26—30	30—34	247—266	20—21
---------	---------	---------	-------	--------	-------	-------	---------	-------

aQ_3^2 — глины (n 4)

174—270	142—193	840—940	41—62	91—119	31—41	30—36	258—329	27—36
---------	---------	---------	-------	--------	-------	-------	---------	-------

$IN_1^3 N_2$ — глины литифицированные (n 3)

224—294	129—177	594—777	38—46	90—108	26—39	21—28	201—232	22—28
---------	---------	---------	-------	--------	-------	-------	---------	-------

Sr	Rb	Co	Ni	Cu	Zn	Pb	As	Sn
10	11	12	13	14	15	16	17	18

bQ_4^{2-3} — илы (n 2)

236—239	59—70	17—29	68—96	53—56	75—78	7—33	5—9	3—4
---------	-------	-------	-------	-------	-------	------	-----	-----

aQ_3^2 — глины (n 4)

219—345	73—124	21—38	46—89	23—56	76—119	7—50	5—13	2—5
---------	--------	-------	-------	-------	--------	------	------	-----

$IN_1^3 N_2$ — глины литифицированные (n 3)

120—217	67—108	28—33	71—155	55—66	77—83	27—97	8—17	3—5
---------	--------	-------	--------	-------	-------	-------	------	-----

бенностей относятся также повышенные значения К4 (преимущественно 2), что можно объяснить высокими концентрациями ванадия; для всех выделенных геолого-генетических комплексов одинаковы диапазоны изменения К2, при этом К2 0,50 за счет пониженного содержания стронция.

Остальные коэффициенты в отложениях изменяются в зависимости от их генетической принадлежности: К3 имеет максимальное значение 0,31—0,86 в озерных глинах, минимальное 0,25—0,30 — в биогенных илах. О степени химической зрелости отложений свидетельствует коэффициент К6. Принцип

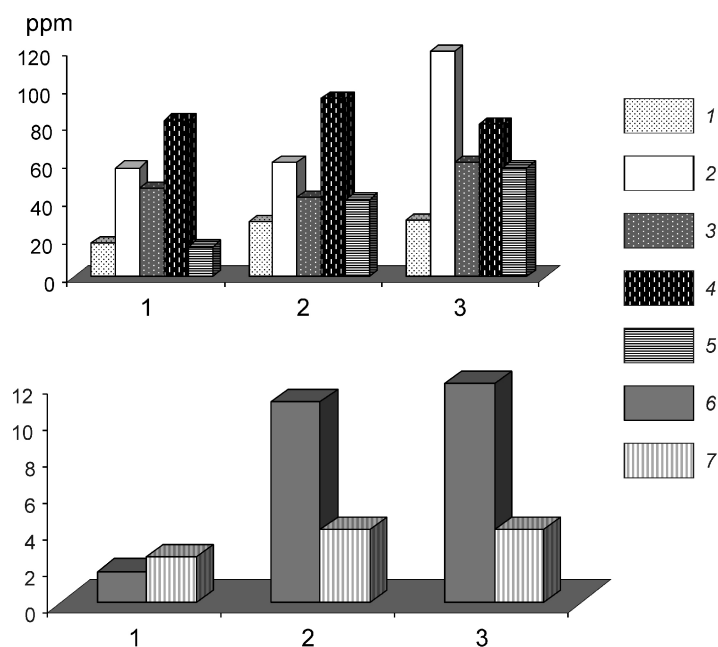


Рис. 2. Сравнительная характеристика концентраций токсичных элементов в разновозрастных глинах по отношению к значениям кларков, по А.П.Виноградову:

1 — кларк; содержание токсичных элементов в глинах: 2 — аллювиальных (aQ_3^2), 3 — озерных литифицированных ($IN_1^3 N_2$); 1 — Co; 2 — Ni; 3 — Cu; 4 — Zn; 5 — Pd; 6 — As; 7 — Sn

6. Значения индикаторных коэффициентов в отложениях различных геолого-генетических комплексов

Ca/Sr (K1)	Sr/Ba (K2)	Rb/Sr (K3)	V/Zn (K4)	La/V (K5)	Ti/Zr (K6)
bQ_4^{2-3} — илы ($n = 2$)					
29—35	0,25—0,30	0,25—0,30	2,31—2,53	0,18—0,27	47—51
aQ_3^2 — глины ($n = 4$)					
29—41	0,27—0,41	0,32—0,36	1,61—2,97	0,25—0,28	35—48
IN_i^3 N_2 — глины литифицированные ($n = 3$)					
36—67	0,16—0,28	0,31—0,86	2,55—3,54	0,13—0,22	40—61
$IPg-N_1$ — глины из района г.Биробиджан ($n = 13$)					
28—47	0,16—0,27	0,68—1,31	1,54—2,45	0,28—0,81	14—34

его действия основан на том, что пироксены, амфиболы и ряд оксидов, обогащенных титаном, а также ванадием, относительно быстро разрушаются при миграции и седиментации, тогда как устойчивые к выветриванию циркон, монацит, апатит, содержащие повышенные концентрации циркония и лантана, накапливаются в осадках. По этой причине уменьшение указанного коэффициента подтверждает увеличение степени выветривания материала, то есть степени его химической зрелости [15]. Для озерных литифицированных глин отмечается понижение коэффициента K5, что, по-видимому, связано с высоким содержанием ванадия 224—294 ppm.

При сопоставлении геохимических особенностей кайнозойских образований района выявлено особое положение озерных неогеновых глин цоколя террасы. Они обогащены оксидом железа и имеют высокий индикаторный коэффициент Mn/Fe 0,0088—0,0820, который в несколько раз превышает среднее значение 0,0190, установленное для четвертичных отложений [17], что подтверждает иной возрастной критерий этих глин. Кроме того, в этом же комплексе отмечаются максимальная «токсичность», наибольшая суммарная концентрация ванадия и хрома, а также максимальные значения K3.

Располагая данными о геохимических особенностях озерных дочетвертичных глин на исследованном участке и в районе г.Биробиджан, авторы провели их сравнение. «Биробиджанские» глины, относящиеся к палеоген-неогеновым озерным фациям ушумунской свиты, характеризуются более высоким значением отношения концентрации As к кларку (9,41), для кобальта, меди, никеля наблюдается их снижение (0,81—1,06), как и в случае свинца (2,75) по сравнению

с озерными литифицированными глинами. Выявлены повышенные концентрации La, Ce, Nd, Y, Rb, Zr, но пониженные V, Cr (табл. 7).

По индикаторным коэффициентам установлены следующие отличия: увеличиваются значения K3, K5, снижается K4; K1 и K2 — остаются без изменений (см. табл. 6).

Резкое (в 2—4 раза) снижение коэффициента K6 «биробиджанских» глин по сравнению с изученными глинами озерного неогенового комплекса — свидетельство их более высокой химической зрелости, что связано с увеличением геологического возраста (это озерный палеоген-неогеновый комплекс).

Из изложенных материалов можно сделать следующие выводы.

1. Четвертичные отложения (биогеенный и аллювиальный комплексы) по данным стандартной гранулометрии относятся к суглинкам пылеватым, которые имеют скелетно-агрегированную и агрегированно-скелетную микроструктуру и тонко-мелкопесчаный смешанный тип структурной модели, характеризуются повышенным содержанием карбонатов, подвижных форм оксида алюминия и гумуса.

2. Различия между биогеенными и аллювиальными отложениями установлены по содержанию, размерам и строению агрегатов, составу карбонатных солей и физико-химической активности (емкости катионного обмена).

3. Озерный неогеновый комплекс отложений по данным стандартной гранулометрии представлен глинами пылеватыми, которые имеют скелетно-агрегированную и агрегированную микроструктуру, тонко-мелкопесчаный смешанный тип структурной модели, отличаются пониженным содержанием первичных (свобод-

7. Содержание микроэлементов (ppm) в озерных палеоген-неогеновых глинах в районе г.Биробиджан ($n = 13$)

V	Cr	Ba	La	Ce	Nd	Rb	Sr	Y	Zr
71—137	71—118	491—701	38—89	57—148	30—73	95—130	79—190	17—70	161—267

ных) крупнопылеватых частиц и повышенным — мелкопылеватых и грубоглинистых. В составе карбонатов преобладают железистые соли, снижается количество подвижных форм оксида алюминия.

4. Установлены общие микроструктурные признаки разновозрастных отложений озерного комплекса (сопоставлены данные исследованного участка; палеоген-неогеновые «биробиджанские» глины; плейстоценовые глинистые осадки оз. Байкал в районе Академического хребта) — высокая агрегированность, повышенное содержание первичных мелкопылеватых и грубоглинистых частиц, участие в образовании агрегатов трех видов фракций (тонкоглинистые, грубоглинистые и мелкопылеватые); предложены гипотезы формирования агрегатов.

5. При изучении геохимических особенностей кайнозойских отложений района выявлены их некоторые общие признаки: среди микроэлементов основными являются барий, стронций и цирконий (те же компоненты занимают господствующее положение в четвертичных глинистых и лёссовых покровах Европейской части России и юга Восточной Сибири, что связано с минеральным составом их терригенной части); в группах редких элементов (лантаноиды; ванадий и хром; ниобий, иридий, рутений) ведущими оказались ванадий, цезий и рутений; не имеют различий индикаторные коэффициенты K1, K2, K4, значения остальных K3, K5, K6 определяются генетической принадлежностью отложений.

6. По геохимическим признакам достаточно четко выделяется озерный неогеновый комплекс, для которого характерны наибольшее содержание оксида железа и, соответственно, высокое значение индикаторного отношения Mn/Fe, а также максимальная «токсичность» (на первом месте находится мышьяк, концентрация которого превышает его кларк в 6,5—7,1 раза).

7. Аналогичные по генезису, но более древние по возрасту «биробиджанские» глины также содержат еще в большем количестве мышьяк (его концентрация по отношению к кларку превышена в 9,4 раза), обогащены лантаноидами (за счет церия и неодима), но есть различия по индикаторным коэффициентам K5 (повышение), K4, K6 (понижение), что определяется содержанием соответствующих элементов и степенью химической зрелости глинистых отложений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Войткевич Г.В., Мирошников А.Е., Поваренных А.С., Прохоров В.Г.* Краткий справочник по геохимии. — М.: Недра, 1970.
2. *Государственная геологическая карта СССР масштаба 1:200 000, серия Сихотэ-Алинская, лист М-53-XXX.* Объяснительная записка / Под ред. В.А. Дымовича, В.И. Сухова. — М., 1987.
3. *Иванов И.П.* Инженерная геология месторождений полезных ископаемых. — М.: Недра, 1990.
4. *Изосов Л.А., Коновалов Ю.И.* Западно-Сихотэ-Алинский окраинно-континентальный вулканический пояс и его тектоническая позиция в Западно-Тихоокеанской зоне перехода океан—континент. — Владивосток: Дальнаука, 2005.
5. *Лабораторные работы по грунтоведению: Учебное пособие* / Под ред. В.Т. Трофимова и В.А. Королева. — М.: Высшая школа, 2008.
6. *Методические рекомендации по определению физико-химических свойств почв и грунтов при инженерно-геологических и почвенно-мелиоративных изысканиях* / Под ред. Л.И. Кульчицкого. — М.: Союзводпроект, 1977.
7. *Павлюткин Б.И., Петренко Т.И., Царько Е.И.* Третичная сандуганская свита Приморья: проблемы возраста и корреляция // Тихоокеанская геология. 1999. Т. 18. № 5. С. 69—81.
8. *Ревенко А.Г., Худоногова Е.В.* Рентгенофлуоресцентное определение содержаний неосновных и следовых элементов в различных типах горных пород, почв и отложений с использованием спектрометра S4 PIONEER // Украинский химический журнал. 2005. Т. 1. № 9—10. С. 39—44.
9. *Ревенко А.Г., Худоногова Е.В., Жалсараев Б.Ж. и др.* Рентгенофлуоресцентное определение некоторых следовых элементов в горных породах на энергодисперсионном спектрометре с поляризатором // Proc. 2-nd Intern. Schol on Contemporary Physics (Ulaanbaatar, Mongolia, 2002). — Ulaanbaatar: Universiti Press, 2002. Pp. 132—145.
10. *Ряценок Т.Г.* Региональное грунтоведение (Восточная Сибирь). — Иркутск, 2010.
11. *Ряценок Т.Г., Ухова Н.Н.* Химический состав дисперсных грунтов: возможности и прогнозы (юг Восточной Сибири). — Иркутск, 2008.
12. *Степаненко В.М., Замбржицкий А.И., Буряк В.А.* Новый (Болотистый) золотоносный узел в Западно-Сихотэ-Алинском поясе — показатель развития молодого (эоценового) плутоногенного золотого оруденения россыпеобразующей формации в этом поясе // Генезис месторождений золота и методы добычи благородных металлов / Тез. докл. междунар. конф. — Благовещенск: АмурНИИ АмурНЦ ДВО РАН, 2001. С. 145—147.
13. *Сушкин Л.Б.* Геотектоническая позиция кайнозойского золотого оруденения Право-Соолийского рудно-россыпного узла (Западный Сихотэ-Алинь) // Геодинамика формирования подвижных поясов Земли / Тез. докл. междунар. конф. — Екатеринбург: ИГиГ УрО РАН, 2007а. С. 306—309.
14. *Сушкин Л.Б.* Новые представления о золотоносности северного сегмента Западного Сихотэ-Алиня // Новые идеи в науках о Земле / Тез. докл. междунар. конф. — М.: РГГРУ, 2007б. Т. V. С. 248—251.
15. *Сысо А.И.* Закономерности распределения химических элементов в почвообразующих породах и почвах Западной Сибири. — Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2007.
16. *Штельмах С.И.* Распределение микроэлементов в дисперсных грунтах ключевых участков юга Восточной Сибири (инженерно-геологические и геоэкологические аспекты) // Автореф. дисс. ... канд. геол.-минер. наук. — Иркутск, 2010.
17. *Юдович Я.Э.* Индикаторное значение отношения Mn/Fe в осадочных породах // ДАН. 2000. Т. 375. № 2. С. 233—234.

Влияние техногенеза на геологическую среду: особенности развития экзогенных геологических процессов юга Восточной Сибири

Е.А.КОЗЫРЕВА (Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт земной коры (ИЗК) СО РАН; 664033, г.Иркутск, ул.Лермонтова, д.128)

Представлены основные региональные особенности воздействия техногенеза на геологическую среду юга Восточной Сибири, дана характеристика основных природно-технических геосистем региона и выявлены типы функциональных взаимодействий совместного развития экзогенных процессов.

Ключевые слова: техногенез, природно-технические геосистемы, экзогенные геологические процессы, активизация, динамика.

Козырева Елена Александровна, kozireva@crust.irk.ru

Technogenic influence on geological environment: development features of exogenous process in the south of Eastern Siberia

E.A.KOZYREVA

The main regional peculiarities of interaction of technogenesis with geological environment of the South of Eastern Siberia are considered. The characteristics of the main groups of natural and technological regional geosystems are given. The basic types of joint development of exogenous processes (functional interactions) are revealed.

Key words: technosphere, natural and technical geosystems, exogenous geological processes, activation, dynamics.

Требования к экзогеодинамической безопасности среды проживания людей закономерно привели к научному направлению инженерной геологии к экологизации исследований, пересмотру отдельных теоретических положений в сторону их гармонизации с законами природы. В связи с этим, ключевой проблемой региональной экзогеодинамики становится учет влияния техногенеза, сформировавшегося за период освоения территории, на современное состояние геологической среды. Под техногенезом понимается искусственно созданная система в результате инженерной и хозяйственной деятельности человека в виде строительных и горных работ, зданий и сооружений различного назначения [2]. После периода пионерного освоения природных богатств Сибири, этапа социалистической индустриализации появилась необходимость изучения особенностей взаимодействия современной техносферы с геологической средой с учетом ресурсной и экологической функций литосферы [12]. В основу современных инженерно геологических исследований положен принцип системного подхода с выделением природно-технических геосистем (ПТГ) [1] и анализ пространственно-временного распространения экзогенных геологических процессов (ЭГП). Геологическая среда рассматривается с одной стороны как основа жизни и устойчивого развития, с другой, как источник развития природных и природно-техногенных опасных геологических процессов.

Актуальность и методы исследований. Интенсивное освоение территории Восточной Сибири, проектирование и строительство новых инженерных объектов характерно для этапа современного развития региона. Увеличивающаяся техногенная нагрузка через разветвление, уплотнение и ввод новых технических объектов приводит к формированию специфических инженерно-геологических обстановок, активизации и возникновению экзогенных геологических процессов. Проблема особенностей развития разных групп экзогенных процессов в зонах влияния технических объектов остается одной из самых острых, поскольку многие процессы в техногенных условиях проявляют высокую активность и переходят в группу особо опасных, угрожая социально-экономическими ущербами. Выявление закономерностей развития экзогенных геологических процессов обеспечивает понимание направленности развития эксплуатируемых природно-технических геосистем, их устойчивости и безопасности и дает возможность построения обоснованного прогноза дальнейшего использования геологического пространства.

Учитывая перспективу экономического развития региона и будущее увеличение площадей освоенных территорий, проектирование и ввод в эксплуатацию новых крупных технических объектов, уплотнение сети инфраструктуры региона, нарастает необходимость детального анализа особенностей развития экзогенных процессов в сложившихся техногенных условиях.

В ходе работы по изучению реакции геологической среды на техногенное вмешательство использовались методы экспериментального и теоретического уровня. В основу положены инженерно-геологические исследования по оценке состояния зон влияния технических объектов, расположенных на территории юга Восточной Сибири: рекогносцировочное обследование; выделение ключевых участков; восстановление и ведение мониторинговых работ (в период с 2000 г.); картирование и построение геодинамических моделей; инженерно-геологическая оценка пораженности территории процессами; выявление взаимодействия и динамики современных экзогенных процессов; анализ и систематизация накопленной информации; математическая обработка данных; использование геоинформационных систем при построении и анализе специализированных синтетических карт; применение методов инженерно-геологического прогнозирования; выполнение экспертных качественных и количественных оценок и др.

Региональный техногенез. За период освоения территории юга Восточной Сибири сформировались группы природно-технических геосистем, каждая из которых характеризуется специфической техногенной нагрузкой на геологическую среду и определяется проектными параметрами хозяйственно-экономического предназначения объекта. Создание и эксплуатация технического объекта формирует зоны взаимодействия с геологической средой. Под зоной взаимодействия геологической среды с сооружением следует понимать подстилающую (вмещающую) сооружение область литосферы, внутри которой в результате взаимодействия с сооружением возникают техногенные аналоги или активизируются экзогенные геологические процессы.

Процесс освоения территории юга Восточной Сибири неотделим от общего исторического процесса развития Сибири. При освоении пространств Восточной Сибири в первую очередь заселялись южные районы Сибирской платформы, более удобные для проживания и относительно спокойные в геологическом отношении. Освоенные участки пространственно выделяются достаточно четко: они локализованы и примыкают к транспортным артериям, соединяющим регион с Европейской частью России и Востоком, расположены вдоль Транссибирской магистрали и Западного участка БАМа (рис. 1).

На начальных этапах освоения территории, возведения острогов и (исторических) городов техногенное воздействие было минимальным и не приводило к изменению природной геодинамической обстановки; оно выражалось в вырубке лесов, сельскохозяйственном освоении территории, первоначальной деревянной застройке. Длительное время воздействие на геологическую среду на территории поселений существенно не менялось, увеличивалась лишь площадь воздействия. На всех последующих этапах, осо-

бенно в XX в., с ростом городов и увеличением промышленно-транспортных нагрузок возрастала доля искусственных факторов, увеличивались масштабы влияния техногенеза [3].

Указом Сената от 16 марта 1733 г. «О проведении самого длинного тракта в мире, соединившего не только европейскую часть России, но и всю Европу с Азией и Китаем» было принято решение о строительстве Московского тракта. Именно это обстоятельство вызвало возникновение и развитие многих городов вдоль него: Нижнеудинск, Чита, Нерчинск, Иркутск [6]. Все дальнейшее строительство линейных сооружений так же было вызвано политическими и экономическими потребностями страны. Байкало-Амурская магистраль — стройка века, которая была возведена Советским Союзом в очень сложных геологических условиях в сжатые сроки. Прокладываются автодороги, линии электропередач, кабели связи и другие магистрали. С ростом транспортной активности вдоль трасс расширяется зона техногенного влияния, что приводит к формированию негативных экзогенных геологических процессов [5].

Интерес к богатству природных ресурсов существовал всегда. Наиболее длительную историю освоения имеют отрасли, добывающие уголь, золото, железо, соль и стройматериалы. Производственная деятельность при добыче полезных ископаемых в плане отрицательного воздействия на природную среду характеризуется, прежде всего, нарушением морфометрических параметров поверхности земли, изменением напряженного состояния грунтов [10].

В период расцвета социализма и бурного технического освоения территорий бывшего Советского Союза уделялось особое внимание гидротехническому потенциалу региона. В 1950-х годах была принята стратегия индустриального освоения Иркутской области и признано, что Приангарье является наиболее перспективным районом гидроэнергетического строительства в Восточной Сибири. Это привело к планированию и строительству грандиозных гидротехнических сооружений на юге Восточной Сибири. Был создан и активно эксплуатируется в настоящее время каскад ГЭС и крупных водохранилищ: Иркутского, Братского, Усть-Илимского, спроектировано, а сейчас вводится в строй Богучанское водохранилище. Формирование искусственных водоемов произошло в короткий с геологических позиций отрезок времени, а реакция геологической среды на изменение природных условий проявляется на протяжении всего периода эксплуатации в виде возникновения и активизации экзогенных геологических процессов и изменения общей сейсмической обстановки района [15].

В последние десятилетия после ввода в эксплуатацию нефтегазоносных месторождений на территории Иркутской области создана сеть трубопроводного транспорта углеводородов к местам их дальнейшего

использования. Выбор варианта прокладки трассы трубопроводной системы Восточная Сибирь—Тихий океан (ВСТО) в обход оз. Байкал был продиктован в т.ч. и геолого-тектоническими условиями. Экзогенные геологические процессы — один из основных компонентов, определяющих инженерно-геологические условия строительства и эксплуатации любого сооружения. Восточная Сибирь является территорией, пригодность которой для всех видов строительства, и особенно магистральных трубопроводов различного назначения, определяется исключительно геодинамической обстановкой, так как велика опасность негативных последствий нарушения нормального хода эксплуатации сооружений от воздействия того или иного геологического процесса как эндогенного, так и экзогенного [7].

Уникальное озеро Байкал — объект мирового наследия находится на территории Восточной Сибири. Правительством Российской Федерации утверждены границы Байкальской природной территории и ее экологических зон. В последние годы в результате развития сферы туристических услуг в регионе сформировались предпосылки для выделения особого вида техногенной нагрузки на территориях с высоким природным потенциалом: ненарушенная природная среда, особо охраняемые памятники природы, парки, ботанические сады, лечебно-оздоровительные местности, курорты [9]. В пределах юга Восточной Сибири выделена группа туристско-рекреационных геосистем с особым видом техногенной нагрузки на геологическую среду в виде проложения пеших троп, возведения кемпингов, организации сто-

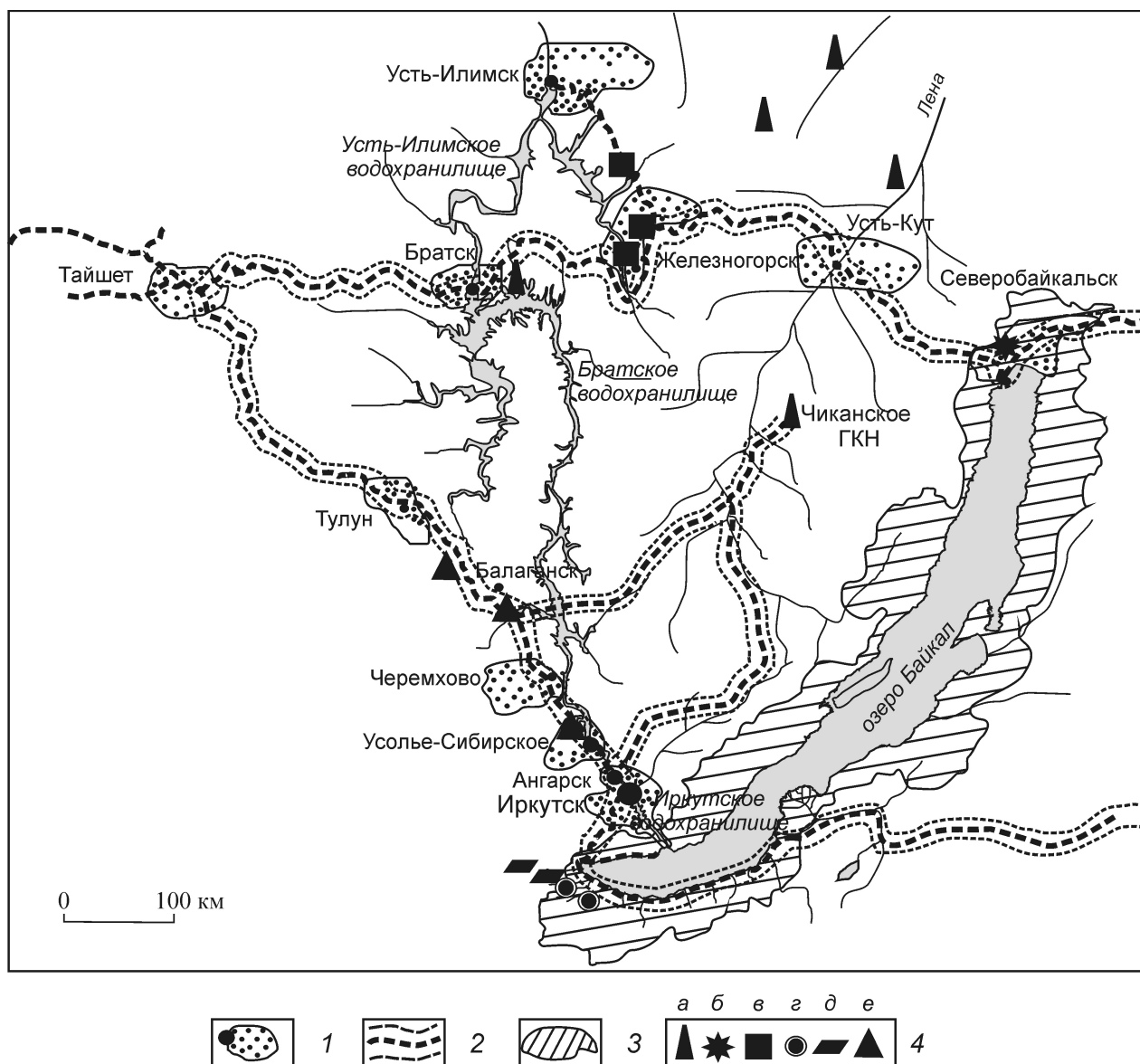


Рис. 1. Карта-схема района исследований:

1 — промышленно-городские агломерации; 2 — основные транспортные магистрали; 3 — Байкальская экономическая зона; 4 — месторождения: а — нефтегазоконденсатные, б — свинцово-цинковые, в — железа, г — карбонатные, д — лагури, е — каменной соли

янок и других видов вмешательств, приводящих к ее трансформации. Оценка геодинамического состояния туристско-рекреационной геосистемы на локальном и элементарном уровне направлена на выявление предела критической устойчивости системы, предела, выше которого не допустима антропогенно-техногенная нагрузка на геологическую среду без утраты ее экологической функции. Необходимо оценить первичное, контролировать текущее и спрогнозировать будущее состояние геосистемы при планируемом использовании территорий.

Исследования отдельных компонентов геологической среды региона на разных этапах инженерного освоения юга Восточной Сибири проводились широким кругом исследователей, в разных условиях и для различных групп процессов. Результаты работ отражены в публикациях: В.П.Солоненко, Г.П.Вологодского, Г.А.Голодковской, Г.Б.Пальшина, Ю.Б.Тржцинского, В.М.Филиппова, В.М.Литвина, А.А.Рагозина, Ф.Н.Лещикова, В.К.Лапердина, Л.А.Сироткина, А.В.Кадетовой, С.Б.Кузьмина, Б.И.Писаргского, Шенькман, Н.И.Демьянович, Т.Г.Ряченко, Пуляевского, Г.И.Овчинникова, В.В.Акуловой и др. В результате анализа совокупности воздействий различных видов техногенной нагрузки на геологическую среду авторами работ выявлены элементы трансформации геологической среды, отражающиеся в изменениях исходного состояния геологического пространства. Как правило, изменение геологической среды сопровождается активизацией экзогенных геологических процессов зон влияния технических объектов.

На основе системного анализа последствий строительства и эксплуатации технических объектов, систематизации полученных в результате исследований, фондовых и опубликованных данных по трансформации геологической среды региона выполнена классификация природно-технических геосистем юга Восточной Сибири. В основу выделения групп и подгрупп положен принцип однородности применительно как к геологическим категориям, так и к техническим объектам. Под типом воздействия понимается весь комплекс сознательно осуществляемых мероприятий, необходимых при строительстве, для создания условий функционирования инженерного сооружения и их комплексов и направленных на улучшение природной обстановки, а также антропогенных ландшафтов [13].

При классификации природно-технических геосистем рассматриваются целенаправленные воздействия человека на геологическую среду (табл. 1). Влияние технического сооружения на геологическое пространство характеризуется трансформацией инженерно-геологических условий некоего объема верхней части литосферы во времени. Зона влияния имеет объемно-территориальное распространение и в зависимости от вида технической нагрузки может иметь объемно-площадное, объемно-линейное или

локально-точечное выражение. Происходят изменения состояния и свойств (перераспределение напряжений, изменение состояния грунтов, развитие экзогенных геологических процессов и др.) вмещающих горных пород. Например, граница зоны влияния водохранилищ территориально совпадает с внешней границей зоны выклинивания подпора подземных вод при максимально высоком положении уровня в водоеме [8]. Зона влияния линейных сооружений ограничивается областью распределения напряжений от веса сооружения, степенью преобразования вмещающих горных пород, а также пространством воздействия динамических нагрузок [7]. Совершенно очевидно, что наибольшие масштабы воздействия на геологическую среду оказывают промышленно-городские агломерации. Это обусловлено высокой плотностью жилых и промышленных массивов, высокой концентрацией инфраструктуры, изменением гравитационного поля, связанного с изъятием минерально-сырьевых ресурсов.

В пределах региона при рассмотрении взаимодействия геологической среды с комплексом сооружений (группами природно-технических геосистем), когда зоны взаимодействия отдельных сооружений граничат друг с другом или пересекаются (части различных зон могут занимать одну и ту же область) [1] выделяется единая региональная область влияния инженерно-геологических тел на геологическую среду — техносфера. Исходя из этого определения, ясно, что область распространения регионального техногенеза в современных условиях занимает значительные пространства региона и по интенсивности воздействия сопоставима с внешними средами (атмосферой, гидросферой).

Особенности развития экзогенных геологических процессов. При пересечении, соприкосновении разных групп региональных природно-технических геосистем с различными видами технических нагрузок и неограниченным сроком эксплуатации объектов складываются более сложные инженерно-геологические условия, чем при одном типе нагрузки или в свободных от техногенных нагрузок территориях. Экзогенные геологические процессы, провоцируемые различными техногенными факторами, вступая в парагенетические связи, проявляют каскадность, усиливая тем самым преобразование среды. Изучение закономерностей развития экзогенных геологических процессов, анализа механизмов проявлений, определения динамики современных процессов под влиянием техногенных факторов, выявление степени экзogeодинамической опасности территории являются основой обеспечения повседневной безопасности жизни людей и залогом устойчивого социально-экономического развития региона.

К числу унаследованных экзогенных процессов принадлежат гравитационные, криогенные, а также процессы выветривания и связанные с деятельно-

1. Природно-технические геосистемы юга Восточной Сибири

Группа ПТГ	Тип ПТГ	Подтип, определяемый частным видом нагрузки	Фактор воздействия на геологическую среду	Реакция геологической среды: трансформация и формы проявлений	Инженерно-геологическая стадия существования объекта
Промышленно-городские агломерации	Город	Инфраструктура города, жилые и промышленные постройки в городской административной черте	Площадное, локальное, точечное; давление неравномерное по силе и глубине	Морфометрии поверхности; гидрогеологии и криогенных условий; физико-механических свойств грунтов; перераспределение напряжений, активное развитие экзогенных геологических процессов (ЭГП)	Не установившаяся, постоянно увеличивающаяся
	Поселение	Постройки	Площадное, поверхностное равномерное		
	Промышленная зона	Разрезы, карьеры, шахты, отвалы (терриконы), промышленные скважины, полигоны и др.	Площадное, локальное, неравномерное, глубокое		
Водохранилища	Крупный искусственно регулируемый водоем	Иркутское, Братское, Усть-Илимское, Богучанское	Площадное, равномерное	Морфометрии поверхности; гидрогеологии и криогенных условий; физико-механических свойств грунтов; перераспределение напряжений, активное развитие экзогенных геологических процессов; эффект триггерных землетрясений	Не установившаяся, постоянно обновляющаяся
Линейные сооружения	Инженерное сооружение — транспортная магистраль	Железные дороги, автодороги, нефте- и газопроводы, линии связи (ЛЭП)	Линейное, неравномерное	Морфометрии поверхности; гидрогеологии и криогенных условий; физико-механических свойств грунтов; развитие экзогенных геологических процессов	Не установившаяся, развивающаяся
Туристическо-рекреационные	Национальный парк, заповедник и др. охраняемый объект Байкальской природной территории	Побережье оз. Байкал, интенсивно используемое для туризма и отдыха	Площадное, локальное, точечное, неравномерное, статическое	Морфометрии поверхности; гидрогеологии и криогенных условий; физико-механических свойств грунтов; развитие экзогенных геологических процессов	Не установившаяся, постоянно увеличивающаяся
Агропромышленные	Территории лесного и сельского хозяйства	Площади лесозаготовки, пастбища, сельскохозяйственные угодья, поля растениеводства	Равномерное, площадное, приповерхностное	Морфометрии поверхности; гидрогеологии и криогенных условий; физико-механических свойств грунтов; развитие экзогенных процессов	Установившаяся или прогнозная

стью поверхностных и подземных вод. К вновь возникшим, не свойственным ранее для данной территории относятся абразионная и аккумулятивная группы процессов, начавшие развиваться на берегах вновь созданных водохранилищ в платформенной части.

В процессе строительства и эксплуатации линейных сооружений отмечается активизация процессов, связанных с нарушением сети эрозионного стока, криогенными процессами, но наиболее опасными и часто создающими чрезвычайные ситуации становятся оползневые процессы. Нарушение естественного температурного режима грунтов, перераспределение стока поверхностных и подземных вод, локализация техногенных факторов приводят к формированию оползней.

Так, например, в процессе строительства Байкало-Амурской магистрали при подрезке склонов и сооружении насыпей нарушение температурного режима грунтов привело к деградации многолетнемерзлых пород, и, как следствие, к формированию техногенного водоносного горизонта. В сложившихся природно-техногенных условиях мощность оползневого тела определяется мощностью талой зоны. На глубинах 6—8 м по данным геолого-геофизических исследований на «барьерном» участке железной дороги маркируется область обводненных, с низкими физико-механическими показателями суглинков и супесей. К верхней границе современного положения многолетнемерзлых пород приурочена зона смещения оползня. Прогнозные расчеты показали, что склоны в пределах участка имеют низкие показатели устойчивости. Ввод в расчеты поправки на динамическое воздействие (вибрационные нагрузки от проходящих через станцию поездов, в среднем 16 составов в сутки) снизил прогнозный коэффициент до 0,6—0,79. Оползень с захватом части естественного склона и насыпи дороги, в любой момент может перейти в неустойчивое состояние.

Подрезка склонов без прогнозных расчетов устойчивости склонов в сочетании с запущенной техногенной трансформацией геологического пространства в районах строительства дорог приводит к формированию техногенных оползней-сплывов. Так, только за период осень 2012 г. — весна 2013 г. по автомобильным трассам Иркутской области произошло несколько оползневых событий. Как правило, это поверхностные оползни, заложенные по унаследованной морфологии склонов либо по структурно-тектоническим зонам. Протяженность цепочек оползневых цирков в схожих геолого-литологических условиях может достигать нескольких километров вдоль трассы. Техногенное подтопление или экстремальное количество осадков провоцируют подвижки оползней. Смещения происходят как по наклонной плоскости скольжения, так и по кругу цилиндрической поверхности с запрокидыванием смещающихся масс под склон (рис. 2).

Создание искусственных водоемов на территории региона в короткий с геологической точки зрения промежуток времени вызвало глобальную перестройку природной среды. Наибольшая активность экзогенных геологических процессов отмечается в зонах влияния технически регулируемых водоемов — водохранилищ энергетического назначения. Среди них самое крупное по объему водной массы и самое значительное по амплитуде колебаний уровня — Братское водохранилище, водоем многолетнего регулирования, с возможной амплитудой сработки уровня воды до 10 м.

В южной части Братского водохранилища распространены карстующиеся сульфатно-карбонатные породы, в которых зона подпора достигает 12—25 км [8]. По данным электропрофилирования на расстоянии 400 м от береговой линии закартированы карстовые депрессии, полости, заполненные увлажненным рыхлым материалом. Ежегодно обновляются карстовые формы, вскрываются карстовые полости, трещины в береговом склоне, отмечаются общие просадки территории, интенсивно развиваются карстово-оползневые процессы (рис. 3). Во взаимосвязи с эрозией карстовый процесс ежегодно предопределяет экстре-

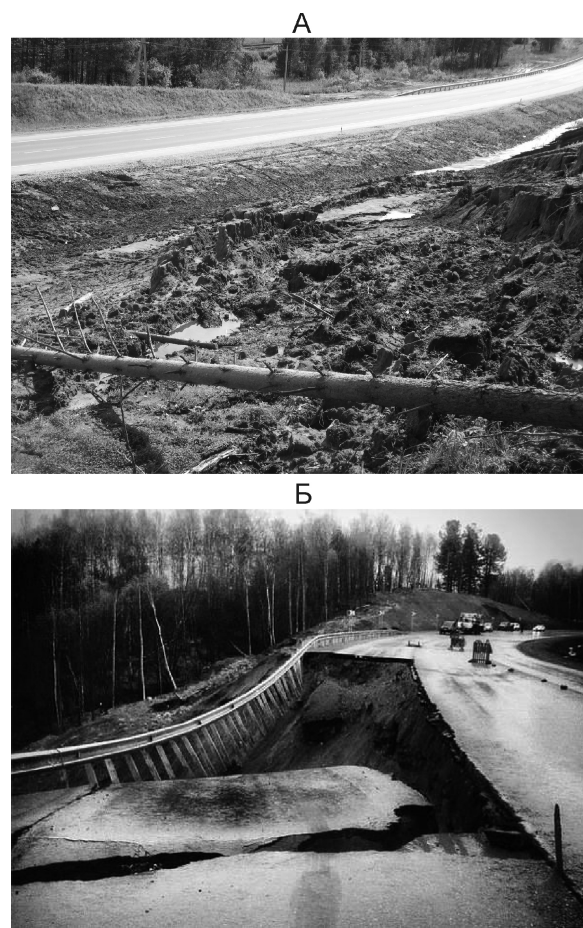


Рис. 2. Техногенные оползни по трассе М-55 «Байкал»:

А — осень 2012 г., Нижнеудинский район; Б — весна 2013 г. в районе г.Бабушкино, Бурятия

мальные величины прироста карстово-эрозионных форм. Примером может служить провальная форма, наблюдаемая в пределах стационарного участка Хадахан. Ее развитие происходит на эрозионно-денудационном склоне крутизной 10—15°, в элювиально-делювиальной толще мощностью 4—6 м. В 2001 г. это была небольшая эрозионная форма (протяженность 35 м) с широкой циркообразной вершиной и ящикообразным поперечным профилем. В 2004 г. протяженность формы увеличилась до 74,5 м, вершина оврага оказалась врезанной в днище расположенной выше по склону эрозионной формы. В 2008 г. произошло слияние этих двух форм, их суммарный объем увеличился в 2,4 раза по сравнению с 2004 г., ширина оврага по верху составила 15—19 м, глубина до 8,5 м, а длина 98 м [14].

Формирования береговых склонов искусственного водоема в условиях техногенного регулирования уровня — очень сложный и многофакторный процесс. Абразионными процессами в пределах Ангарских водохранилищ охвачена береговая линия на протяжении около 3 тыс. км. Максимальная ширина размыва за период эксплуатации водохранилищ достигла 200 м [8]. Эксплуатационные параметры водохранилищ не способствуют стабилизации процессов. Береговые процессы чутко реагируют на любые колебания уровня. Уникальность береговых зон искусственных водоемов состоит в непосредственном взаимодействии ряда процессов в пределах склона [4].

С использованием данных мониторинга на элементарном уровне выполнен анализ взаимодействия ряда береговых процессов. По ключевым участкам построены экзогеодинамические модели, позволяющие определить динамику процессов: абразии, оползней, эрозии и рассчитать объемы трансформации побережья.

Выявлены следующие закономерности:

взаимодействие экзогенных процессов внутри локального участка происходит постоянно, с последовательной сменой ведущего процесса внутри одного эксплуатационного цикла;

оползневые и эрозионные процессы в пределах локальной геосистемы выступают как антагонисты, их совместное развитие усиливает скорость преобразования берегового склона;

повышение уровня воды в сочетании с ветроволновой нагрузкой вызывает нарушение устойчивости склона и провоцирует оползневые смещения вслед за понижением уровня (рис. 4);

оползневые массы поставляют рыхлый материал на пляж, чем усиливают абразионный процесс, перенос и аккумуляцию материала в обводненной части склона;

динамика оползней на водохранилищах при прочих равных условиях (литология, геоморфология) контролируется уровнем режимом водоема. Кривая динамики оползневой активности в районе Хада-

хано-Мельхитуйского массива Братского водохранилища показывает тесную связь активизации оползней с уровнем режимом водоема;

активное проявление карстовых форм отмечается после длительного цикла или нескольких краткосрочных циклов высокого стояния уровней воды в водоеме.

Из всего разнообразия взаимодействий процессов, проявления их форм на земной поверхности можно выделить отдельные типы функциональных взаимодействий экзогенных геологических процессов, проявляющихся в пределах одного элементарного геоморфологического элемента. Под типом совместного

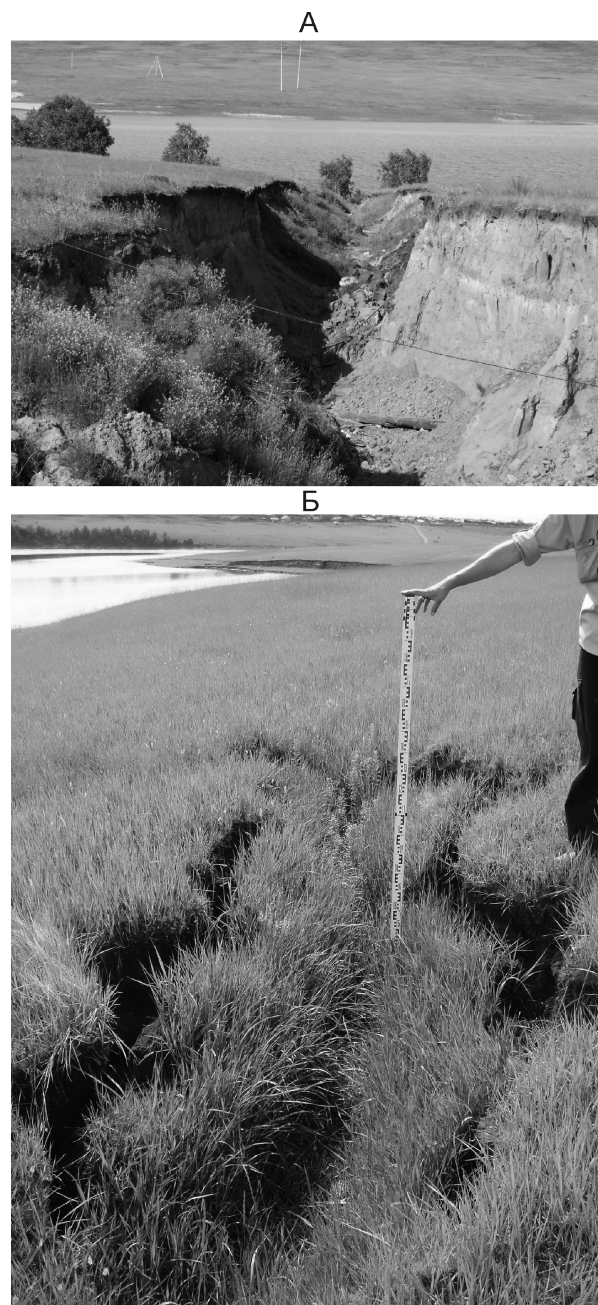


Рис. 3. Проявления карстового процесса:

А — карстово-эрозионная форма; Б — трещина на карстово-оползневом склоне

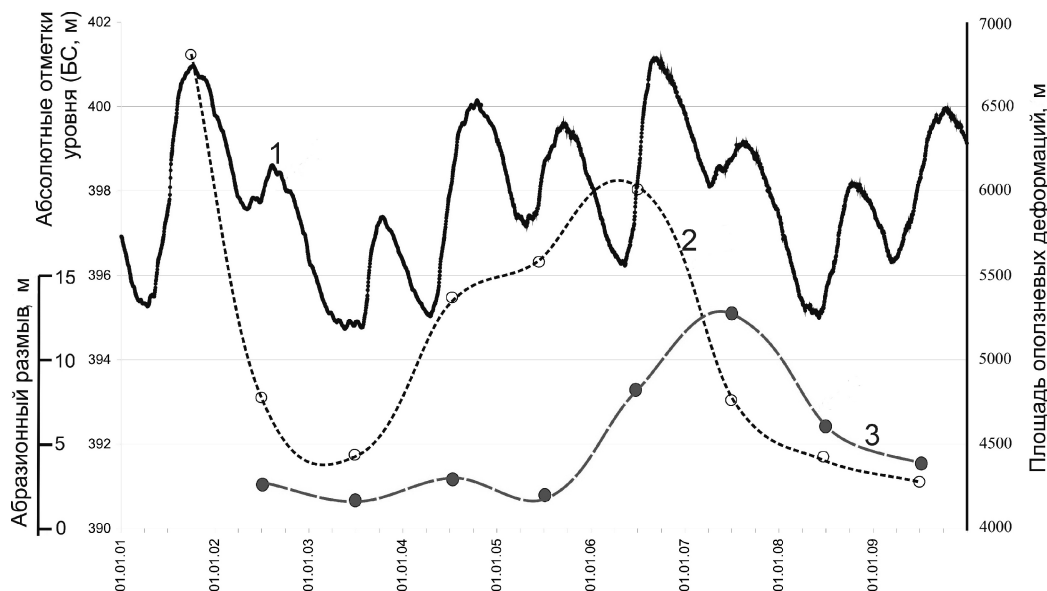


Рис. 4. Влияние колебания уровня воды на динамику абразионного и оползневых процессов (район Хадахано-Мельхитуйского массива Братского водохранилища):

1 — колебание уровня; активность: 2 — оползневая, 3 — абразионная

развития понимаются совокупности механизмов реализации отдельных процессов на локальном и элементарном уровнях. Выделено три группы типов:

территориальное соседство — это, прежде всего, отсутствие взаимного влияния на механизм и динамику соседствующего экзогенного процесса;

взаимовлияние — это обоюдное воздействие процессов друг на друга (провоцирование/торможение), приводящее к изменениям в механизме, динамике и других экзогеодинамических показателях развития отдельных экзогенных процессов.

Одним из ярких примеров реализации взаимовлияния процессов служат берега Байкало-Ангарской гидротехнической геосистемы: абразионно-обвальные, абразионно-осыпные, аккумулятивно-эрозионные и др. (табл. 2). Также сочетание процессов в условиях влияния других природно-технических геосистем: эрозионно-оползневый тип взаимодействия, эрозионно-эоловый и др. При таких сочетаниях процессы могут протекать вместе, усиливая друг друга, увеличивая площади пораженности. Часто совместное влияние процессов выражается в нивелировке форм проявления соседствующих процессов, последовательной смене ведущего процесса в течение цикла.

Зависимость — последовательная реакция одного процесса на развитие другого (восприимчивость, каскадность), приводящая к активизации или зарождению другого экзогенного процесса. По такому типу зависимости развиваются «экзотические» оползни в Приангарье, в породах, способных к растворению [11].

Обсуждение и выводы. Повышенное внимание к проблеме взаимоотношения техносферы с геологической средой вызвано в первую очередь тем, что необходим анализ последствий длительной эксплуатации разных групп технических объектов, их совместного воздействия на геологическую среду региона. Анализ сложившейся ситуации при взаимодействии техногенеза с геологической средой региона выявил

несколько групп природно-технических геосистем: промышленно-городские агломерации, водохранилища, линейные сооружения, туристическо-рекреационные и агропромышленные.

В рамках региональной экзогеодинамики зоны влияния отдельных технических объектов рассматриваются как зоны повышенной геоэкологической опасности, связанной с усилением активности развития унаследованных природных и вновь возникших техногенных процессов.

Формирование техногенной нагрузки региона происходило поступательно, согласно историческим этапам освоения территории и природных богатств юга Восточной Сибири. Сеть созданных и эксплуатируемых в настоящее время региональных типов природно-технических геосистем, в функционировании которых определяющим фактором выступает производственно-хозяйственная направленность технического объекта, формирует единую сферу техногенной нагрузки — техносферу. Воздействие техносферы на геологическую среду возрастает и становится более значительным по сравнению с предыдущими периодами освоения, что необходимо учитывать при осуществлении инженерно-геологических прогнозов состояния территории и дальнейшем рациональном планировании использования земель региона.

В условиях техногенеза многие экзогенные геологические процессы активизируются, приводя к более интенсивному преобразованию исходного состояния геологического пространства. Формы и механизмы совместного развития предопределяются унаследованными геолого-литологическими, структурно-тектоническими условиями, а масштабы и динамика современных процессов контролируется техногенным фактором.

Анализ особенностей развития экзогенных геологических процессов является сложной теоретической и практической задачей в силу изменчивости состояния геологической среды в условиях техногенеза и

2. Типы берегов Байкало-Ангарской гидротехнической системы

Группа	Генетический тип	Подтип	Формы
Абразионные	Практически неразмываемый	Структурно-абразионный	Крутые склоны
	Абразионный	Абразионно-эрозионный	Расчлененный, выраженный береговой уступ, деформация бровки клифа, трещины отпора, просадки территории
		Абразионно-обвальный	
		Абразионно-осыпной	
		Абразионно-сплывной	
		Абразионно-карстовый	
		Абразионно-просадочный (абразионно-суффозионно-карстовый)	
Аккумулятивные	Аккумулятивный	Абразионный с золотой переработкой	
		Аккумуляция перемещенных наносов	Косы, пересыпи, валы, банки
		Аккумулятивно-эрозионный	Перемещение аккумулятивных форм с эрозионными конусами выноса
Техногенные	Искусственное сооружение	Аккумулятивно-биогеогенный	Растительные поля
		Активный	Защитные стенки, дамбы, волноломы, буны, сетки
		Пассивный	Свободные пляжи (байпасинг)

многофакторности при формировании экзогенных процессов. Выявление закономерностей в развитии современных экзогенных процессов определяет область предсказуемости событий и управляемости их динамикой, являясь основой для понимания направленности эволюции техносферы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бондарик Г.К. Общая теория инженерной (физической) геологии. — М.: Недра, 1981.
- Иванов И.П., Тржцинский Ю.Б. Инженерная геодинамика. — С-Пб: Наука, 2001.
- Кадетова А.В. Инженерно-геодинамическая эволюция урбанизированных территорий (на примере г.Иркутск) // Автореф. дис ... канд. геол.-минер. наук. — Иркутск, 2005.
- Козырева Е.А., Рыбченко А.А., Мазаева О.А. и др. Опасные инженерно-геологические процессы зоны влияния байкало-ангарской гидротехнической системы // Геориск. 2012. № 3. С. 46—55.
- Лапердин В.К. Закономерности развития экзогенных геологических процессов в зонах линейных природно-технических систем юга Восточной Сибири // Автореф. дис ... д-ра геол.-минер. наук. — Иркутск, 2003.
- Леви К.Г., Задонина Н.В. Карта истории освоения Сибири (XVI—XVIII вв.). — Иркутск, 2006.
- Леви К.Г., Тржцинский Ю.Б., Козырева Е.А. К оценке тектонического и экзогеодинамического риска деформаций и разрушения трубопроводных систем в условиях Восточной Сибири // Современная геодинамика и опасные геологические процессы. Вып. 5. — Иркутск, 2006. С. 150—174.
- Овчинников Г.И., Павлов С.Х., Тржцинский Ю.Б. Изменение геологической среды в зонах влияния Ангаро-Енисейских водохранилищ. — Новосибирск: Наука, Сибирская издательская фирма РАН, 1999.
- Ряценок С.В., Богданов В.Н., Романова О.И. Региональный анализ рекреационной деятельности. — Иркутск: Изд-во института географии им.В.Б.Соча-вы СО РАН, 2008.
- Тржцинский Ю.Б., Козырева Е.А., Верховзин И.И. Инженерно-геологические особенности Иркутского амфитеатра. — Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2005.
- Тржцинский Ю.Б., Павлов С.Х., Козырева Е.А. Оползни в карстующихся породах Верхнего Приангарья // География и природные ресурсы. № 1. — Новосибирск: Изд-во СО РАН филиал «ГЕО», 2003. С. 87—93.
- Трофимов В.Т., Зилинг Д.Г. Экологическая геология / Учебник. — М.: ЗАО «Геоинформатик», 2002.
- Трофимов В.Т., Баулин В.В., Зекцер И.С. и др. Закономерности изменения инженерно-геологических, гидрогеологических и геокриологических условий при интенсивном техногенном воздействии // Проблемы рационального использования геологической среды. — М.: Наука, 1988. С. 37—61.
- Kozyreva E., Mazaeva O., Rzetala M.A., et. al. Karst and its occurrence on the shores of the Bratsk reservoir // Hydrogeology, engineering and geotechnics / 12th International multidisciplinary scientific geoconference. SGEM 2012. Bulgaria. 2012. Vol. II. Pp. 175—183.
- Levi K.G., Kozyreva E.A., Zadonina N.V. et.al. 2013. Problems of induced seismicity and engineering geological protection of reservoirs of the Baikal-Angara cascade // Geodynamics and Tectonophysics. 2013. Vol. 4(1). Pp. 13—36.

Модель имплозии очага землетрясения

В.И.ИВАННИКОВ (ЗАО «РУС-ИННО»; 119002, г.Москва, Гагаринский пер., д.5, стр.1)

Иванников Владимир Иванович, 6021946@mail.ru

Model implosion of earthquake source

V.I.IVANNIKOV

Принципиально важным отправным пунктом в подходе к осмыслению очага землетрясения является представление о пористой (разуплотненной) структуре пород в потенциальной области гипоцентра землетрясения, как показано на рис. 1. Она формируется за счет локального разогрева пород и перехода их в полурасплавленное состояние. Зона очага, содержащая смесь газовых отходов, может быть устойчивой до момента внешнего вмешательства.

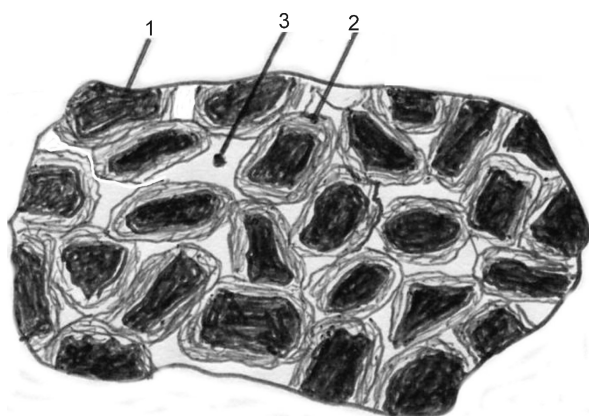


Рис. 1. Фрагмент расплава ПАС:

1 — твердые минеральные частицы; фазы: 2 — жидкая, 3 — газовая (газовая плазма)

То, что землетрясение — взрывной процесс, не вызывает сомнений, хотя бы по времени выделения сейсмической энергии и ее внешним проявлениям на поверхности.

В очагах землетрясений могут иметь место два варианта взрывов: 1) взрыв наружу (газовый или тектонический с положительной дилатансией пород); 2) взрыв внутрь (с отрицательной дилатансией пород).

Рассмотрим вариант взрыва внутрь (имплозия). Он возможен тогда, когда происходит вскрытие очаговой зоны и резкий сброс газового давления в ней. Наиболее вероятно вскрытие производят глубинные

разломы коры. Их «оживление» предугадать весьма сложно, но контролировать необходимо.

Имплозия очага землетрясения в момент его вскрытия показана на рис. 2. Эта модель хорошо коррелируется с фактами мелкофокусных техногенных землетрясений. Здесь можно встретить или пласты пород неглубокого залегания, представленные сыпучей средой несцементированного песка, из которого выпускается газ (эксплуатация газовых залежей), или катаклазиты (дискретные породы), в которые закачивается вода.

Дискретная порода, находящаяся под гнетом горного давления, коллапсирует вследствие резкого снижения трения и сцепления между частицами своего каркаса.

Факты искусственно спровоцированных землетрясений многочисленны. Их объединяют характерные общие черты: это пористые и проницаемые породы, имеющие, как правило, плохо сцементированную матрицу; данные породы содержат жидкие или газообразные флюиды, которые провоцируют стрессо-

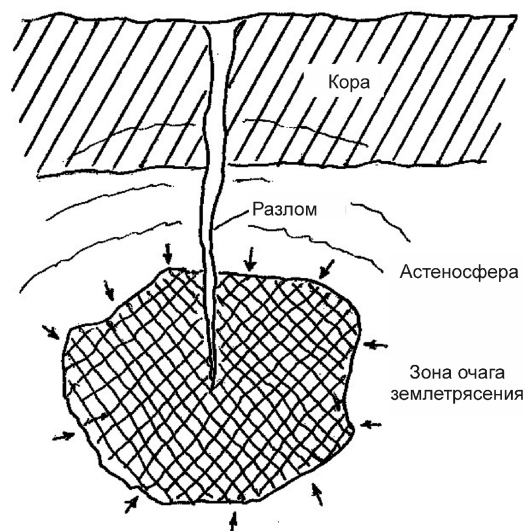


Рис. 2. Имплозия очага землетрясения в момент его вскрытия

вые ситуации (при отборе флюидов из них или закачке в них под действием литостатического давления они «схлопываются», вызывая сейсмические колебания).

Возьмем для примера относительно хорошо изученный объект, где ситуация долговременно контролировалась приборными средствами [4, 5, 11, 12].

Таким объектом может служить газовое месторождение Лак, расположенное в 200 км к юго-востоку от г.Бордо (Франция). Месторождение приурочено к северному борту Пиренейских гор (рис. 3) и находится в 2 км от пологого и сейсмически неактивного Северо-Пиренейского шарьяжа (надвига), а также в 40 км от Северо-Пиренейского разлома, который в отличие от зоны надвига является сейсмически активным и определяет сейсмоактивность всего Пиренейского региона в зоне мощностью до 20 км. Коллектор газа представлен юрскими доломитами переменной пористости: от низкой (4—6%) до очень низкой (1%). Возможность отбора газа обеспечивается хорошо развитой системой трещин, которые существенно повышают проницаемость всего массива продуктивных пород. Газовая залежь локализована в антиклинали, простирающейся на 16 км с востока на запад и на 8—9 км с севера на юг.

Мощность продуктивного горизонта составляет примерно 500 м, а его кровля находится на отметке 3240 м от дневной поверхности.

В период разработки газовой залежи 1959—1969 гг., когда падение пластового давления составило 30 МПа, не отмечалось никаких намеков на повы-

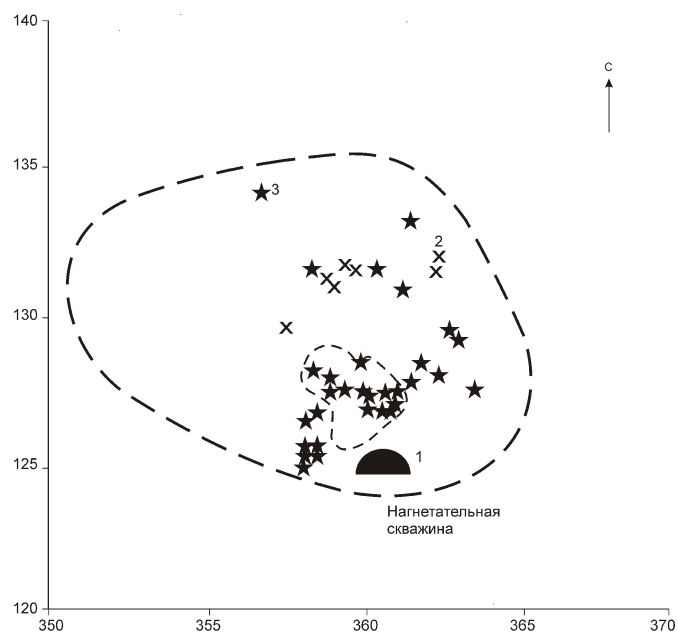


Рис. 4. Карта сейсмоактивности района газового месторождения Лак (М1 3):

эпицентры событий: 1 — за период 1969—1980 гг. (выше залежи), 2 — за период 1981—1990 гг. (выше залежи) и 3 — за период 1981—1990 гг.

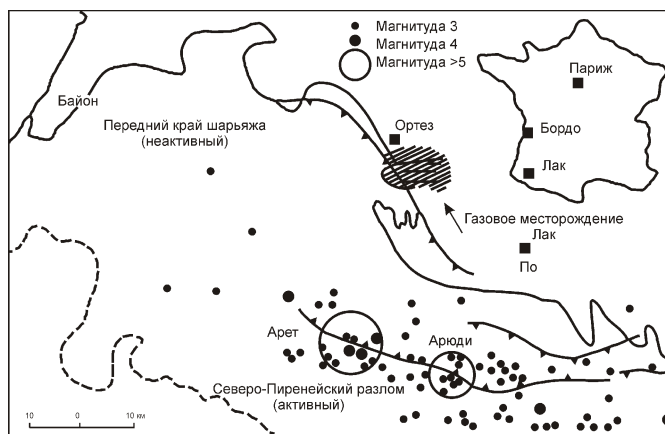


Рис. 3. Географическое расположение газового месторождения Лак, основных геолого-структурных элементов района и характеристика сейсмоактивности территории

шение сейсмоактивности. 24 ноября 1969 г. был зарегистрирован первый толчок, за которым последовали два других — в январе и декабре 1972 г. Магнитуды этих событий составили от 3 до 4 единиц, а эпицентры находились непосредственно над газовой залежью. Поэтому было принято решение о создании локальной сейсмической сети наблюдений под контролем сотрудников Страсбургского института физики Земли (IPGS). Эта сеть, представленная на рис. 4, функционировала с 1974 г. Интерпретация результатов наблюдений проводилась сотрудниками научно-исследовательского института геологии и механики в Гренобле (IRIGM).

В 1976—1981 гг. работали семь сейсмоприемных пунктов. В 1982 г. к этой сети был добавлен трехкомпонентный сейсмоприемник, размещенный на забое 3800 м скважины (см. рис. 4).

По результатам 15-летних наблюдений (с апреля 1974 г. по декабрь 1989 г.) было зафиксировано более 900 событий магнитудой 1.

Более 90% зарегистрированных событий имели эпицентры внутри контура нефтегазоносности [4]. События магнитудой 3 использовались для оценки развития сейсмоактивности во времени и изучения основных характеристик разрывов.

Так как сейсмоактивность охватывает весь купол, то и причина ее вызывающая должна иметь близкие характерные размеры. Падение давления на 50 МПа в залежи активизирует всю газомещающую структуру, имеющую близкие характерные размеры и пространственно совпадающую с зоной сейсмической микротрещиноватости. По данным эксплуатационной разведки можно считать, что падение давления практически одинаково для всей залежи. Поэтому присутствие сейсмоактивных и асейсмических участков определяется главным образом наличием геологических неоднородностей, в т.ч. ранее существовавших трещин.

По данным работы [5] кинематика и распределение поля напряжений землетрясений совпадают с полем напряжений и деформациями, вызванными истощением газовой залежи.

После 30 лет наблюдений стало очевидным, что проседание следует за падением давления газа в залежи, указывая тем самым на упругий характер суммарной реакции всего горного массива (рис. 5).

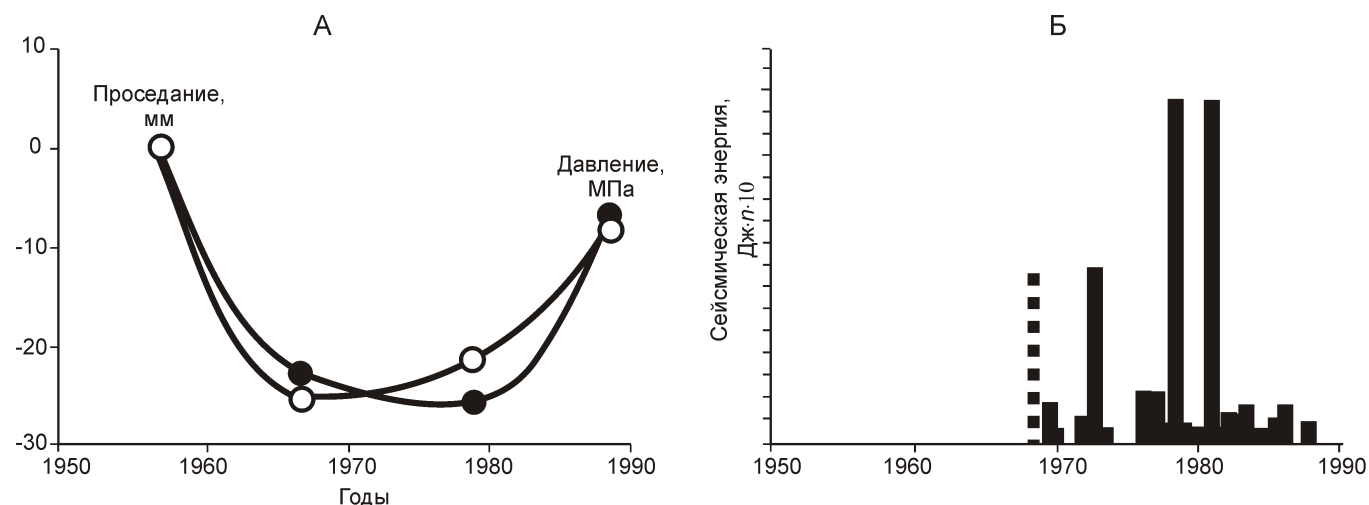


Рис. 5. Сейсмичный (А) и асейсмичный (Б) характер поведения района газового месторождения Лак (Франция)

Общая информационная картина исследований на газовом месторождении Лак, дана на рисунках 6 и 7.

Землетрясения и мелкофокусные, и глубокофокусные по своей природе должны иметь общее проис-

хождение. Едва ли природа, экономная во всем, позволила бы себе разные механизмы взрывного трясения коры. Поэтому, анализируя маломощные техногенные землетрясения более доступные для изучения, можно интерпретировать их на недостижимые пока глубины.

Статистика фактов свидетельствует:

1. Мощность землетрясения (количество выделяе-

мой сейсмической энергии) возрастает с глубиной заложения очага. Это косвенно указывает на увеличение объема неоднородности в зоне очага землетрясения и вероятности «взрыва внутрь». Просадки и про-

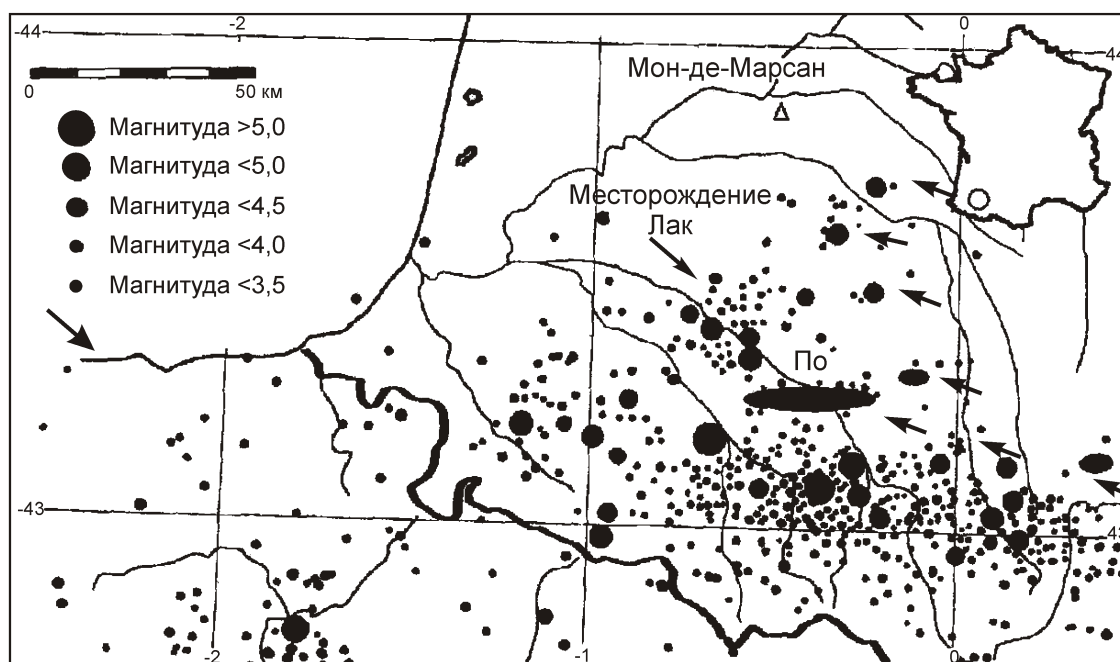


Рис. 6. Карта сейсмоактивности Западно-Пиренейского района за 1962—1990 гг., по данным Национальной сейсмологической сети:

стрелки — места, где производились манипуляции с флюидом

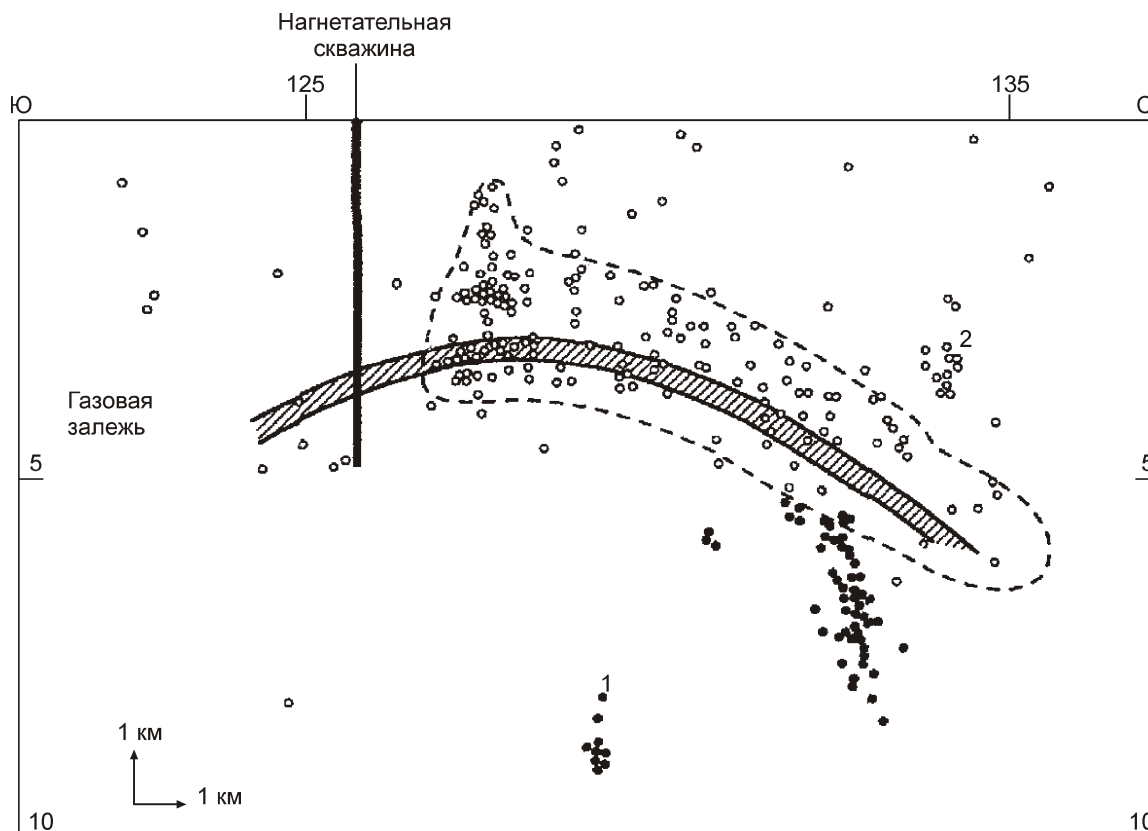


Рис. 7. Вертикальный разрез через зону газового месторождения Лак:

гипоцентры сейсмических событий: 1 — ниже залежи, 2 — выше залежи

валы на поверхности в районе эпицентра также говорят о вероятности имплозии очага землетрясения.

Факты прогибания поверхности при эксплуатации нефтяных и газовых залежей по данным работ [11, 12 и др.]: прогибание над месторождением Уилмингтон (Калифорния, США) привело к тому, что плотины порта Лонг-Бич пришлось надстраивать на 9 м; прогибание над месторождением Инглвуд (Калифорния) было признано причиной деформаций и разрушения плотины Болдуин-Хилл в 1963 г.; прогибание дна Северного моря над нефтяными залежами Экофиск в пластах верхнемелового возраста мощностью 300 м на площади 50 км² установлено на несколько метров; благодаря проведению повторного нивелирования в 1887, 1967, 1979 и 1989 гг. на газовом месторождении Лак (Франция) зафиксировано проседание поверхности по всей площади газоносной структуры (16 9 км).

2. Число последующих толчков быстро убывает с глубиной очага землетрясения (глубокофокусные землетрясения афтершоками сопровождаются редко).

3. Стадия подготовки землетрясения заключается в деформации дискретных частиц породы в зоне очага под действием тангенциального сдвига.

4. Вода, входящая в зону очага землетрясения, является спусковым фактором для перехода частиц

(кусков) породы из состояния положительной дилатансии к отрицательной (рис. 8).

Выпуск газов (при эксплуатации газовых залежей) постепенно или спонтанно увеличивает нагрузку горного давления на пласт и таким образом вызывает стресс продуктивного пласта (при слабой цементации его скелета). Подобные землетрясения имели место на газовых месторождениях в Газли (Узбекистан), Лак (Франция) и ряде других.

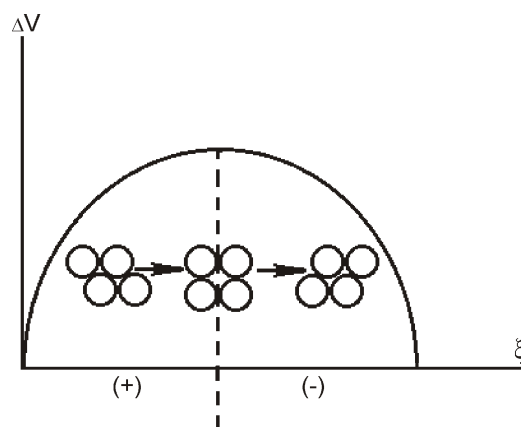


Рис. 8. Переход дискретной породы из состояния положительной дилатансии к отрицательной:

— сдвиговые деформации; V — изменение объема

Недавно американские ученые выдвинули гипотезу, согласно которой колебания земной коры при возбуждении землетрясения вызваны выделением метана из внутренних резервуаров Земли. Этим, по-видимому, объясняется страх и беспокойство животных, которые, как предполагается, улавливают просачивание микроконцентраций газа еще до первых толчков.

Закачка вод в пористые и проницаемые пласты (п-ов Крым, структура Викинг в Северном море) также провоцирует землетрясения, ослабляя связи минерального каркаса вмещающей породы и раскрывая ее микротрещины.

И в том, и в другом случаях реализуется один и тот же механизм схлопывания пористой породы. Форшоки и афтершоки всего лишь прелюдия и заключительные аккорды до и после главного стресса. Они отличаются от главного толчка только объемом разрушения.

Прямыми экспериментами возбужденных землетрясений путем закачки и откачки воды в пласты могут служить опыты на нефтяном месторождении Рейнджели (США) и на скважинах в районе Мацусиро (Япония). На рис. 9 приведены гистограмма толчков и кривая пластового давления.

Объем астенотинзы полурасплавленных пород под корой имеет многократно большие размеры. При вскрытии такого очага разломом даже небольшой выплеск газов и сброс газового давления высвобож-

дают огромное количество сейсмической энергии. Упругие колебания, расходящиеся во все стороны от очага землетрясения, называются сейсмическими волнами. Энергия сейсмических волн по мере удаления от очага распространяется на все большую поверхность окружающей среды. Это вместе с поглощением энергии на внутреннее трение ведет к ослаблению колебаний при удалении сейсмических волн от гипоцентра землетрясения.

В работе [13] приводится линейная корреляционная связь между выделяемой сейсмической энергией землетрясения E (в Дж) и объемом очага V_c (в m^3) в виде:

$$E = 100V_c,$$

где в качестве объема очага принята величина $V_c = (Ll)^{3/2}$, а L и l — оси эллипса, моделирующего очаг.

По формуле Гуттенберга-Рихтера:

$$E = 10^{1.5M - 5} \text{ Дж},$$

где M — магнитуда землетрясения.

Сейсмический КПД:

$$\frac{E}{W},$$

W — энергия, выраженная в деформациях или напряжениях очага.

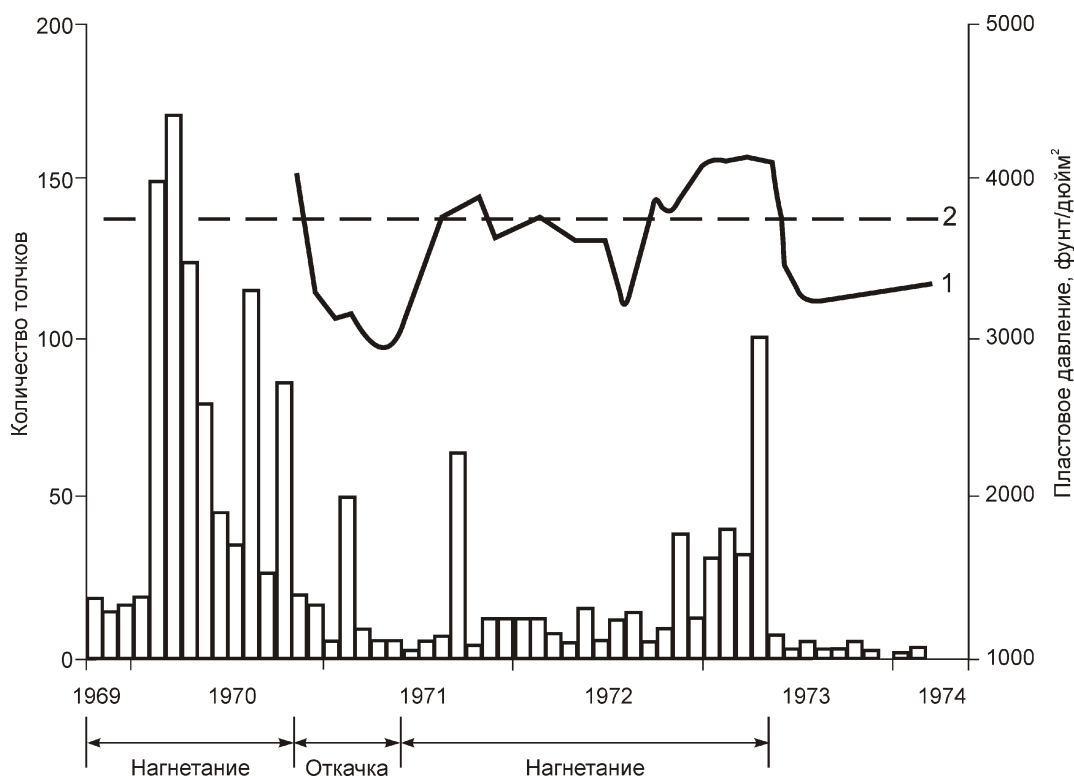


Рис. 9. Зависимость месячного количества толчков в Рейнджели от нагнетания и откачки воды, по Рейли, Хили и Бредехофту:

пластовое давление: 1 — среднемесячное, 2 — критическое, с превышением которого начинаются возбужденные землетрясения

КПД	Магнитуда							
	3	4	5	6	7	8	8,3	9
	0,06	0,13	0,20	0,40	0,63	1,30	1,62	2,45
1	0,17	0,48	1,84	4,18	5,10	5,66	5,73	
2	0,17	0,28	0,69	2,28	4,78	5,61	5,73	

Примечание. $10^{0,26M-1,93\%}$.

В общем виде задача о неоднородности, как некоторого включения в однородной среде, представляющую зону потенциального очага землетрясения с различными модулями упругости корректно решена в работе [7].

Автор же данной публикации ищет физические условия, при которых эта область неоднородности среды переходит в критическое состояние и, что инициирует этот переход.

Естественным состоянием неоднородности очага землетрясения является полурасплав породного массива (ПАС), в традиционном понимании «горячей астенотинзы», существующей в глубоких недрах как очаг землетрясения. Без внешнего вмешательства полурасплав породного массива не проявляет себя, хотя внутри его газовое давление имеет очень высокие показатели (примерно в 3 раза больше, чем эквивалентное данной

глубине гидростатическое давление). Но, как уже показано, при «оживлении» глубинного разлома коры, когда трещина разрыва достигает ПАС, часть газовой фазы стравливается, и тогда в зоне разрядки газового давления происходит объемный коллапс породы, и генерируются сейсмические волны.

Волны «цунами» протяженностью в десятки километров — явный результат проникновения разлома в ПАС. Их образование как раз показывает первый выплеск под давлением газовой фазы в зоне землетрясения. Именно это создает волны такой необычной длины и скорости пробега.

Возвращаясь к явлению горных ударов [8], автор находит общие черты в состоянии очага землетрясения и состоянии, например, метанонасыщенного угольного пласта, вскрываемого горной выработкой. Все признаки говорят о том, что тектонически деформированный объем пласта, находящийся в дискретном состоянии, аккумулирует в трещинной емкости выделяемый метан.

Происходящие эпизодически горные удары в шахтах показывают, что выемка угля сопровождается фильтрацией газа через открытый забой. И по мере снижения газового давления в какой-то момент происходит стресс (переход некоторого объема породы из состояния положительной дилатансии в состояние отрицательной дилатансии). В момент перехода (см. рис. 8) под давлением кровли пласта еще идет и лавинное дробление кусков. В итоге имеет место выброс дробленой массы угля или породы в выработку.

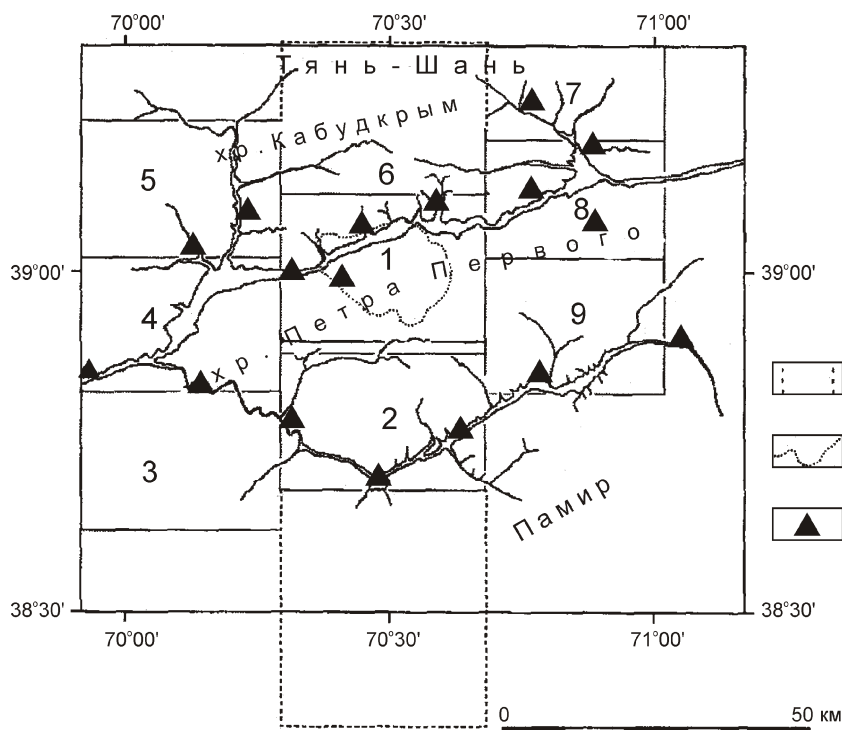


Рис. 10. Общая диспозиция сейсмического поля:

1 — полоса вертикального сечения сейсмического поля; 2 — глубинный «корень» столбообразного сейсмогенного тела; 3 — сеть стационарных сейсмических станций; 1—9 — пространственные выборки для расчета параметров СЛД

Общий повторяющийся мотив последних публикаций на тему землетрясений примерно таков: в недрах заложена бомба, которая непонятно, когда взорвется; непонятно как предугадать ее взрыв; начинка бомбы неизвестна, мощность взрыва тоже; явных прогностических признаков нет, но они крайне необходимы.

Исследователи землетрясений часто путают причины и следствия. В этом смысле показательны работы [2, 3]. Безусловно, что атмосферные аномалии имеются и связаны с эндогенными процессами. А именно: при активации напряжений разрыва коры и «оживления» разломов в атмосфере над зоной разлома возрастают напряженности электрического и магнитного полей и появляются их возмущения. Это может служить одним из предвестников землетрясения, хотя и не очень надежным, так как те же аномалии возникают от внешних факторов (лунные и солнечные воздействия на Землю).

Интересные идеи, данные в работах [1, 10, 13], по своей сути корреспондируются с изложенной моделью, дополняют ее, но предлагают иную трактовку очага землетрясения.

Данные, приведенные А.А.Лукком [9] по результатам натурных измерений на Гармском полигоне в Таджикистане, где на протяжении ряда лет изучались

строение и сейсмотектоническая обстановка, позволяют говорить о применении описываемой модели землетрясений в т.ч. и к указанному объекту.

Общая диспозиция (рис. 10) и разрез сейсмического поля (рис. 11), взятые из работы [9], показывают скопление очагов землетрясения в областях наибольшего развития трещиноватости породного массива и, в частности, в так называемой «столбовой» его части, ограниченной очевидно глубинными разломами, через которые проникает вода р.Сурхоб.

Примечательно, что асейсмические зоны представляют собой более или менее монолитные породы, тогда как другие можно считать катаклазитами, подвергнутыми тектоническим деформациям.

Волновод, выделенный автором, и его пониженная сейсмоактивность, по-видимому, объясняются тем, что деформации дискретной среды здесь уже произошли, а флюидное заполнение поэтому дает минимальное значение скоростей упругих волн V_p/V_s (рис. 12).

Разумеется, автор далек от мысли окончательно решить вопрос очага землетрясения — он слишком сложный и спрятанный. Однако, исходя из общего состояния астеносферы, предлагаемое здесь модельное построение сейсмических событий представляется более-менее адекватным.

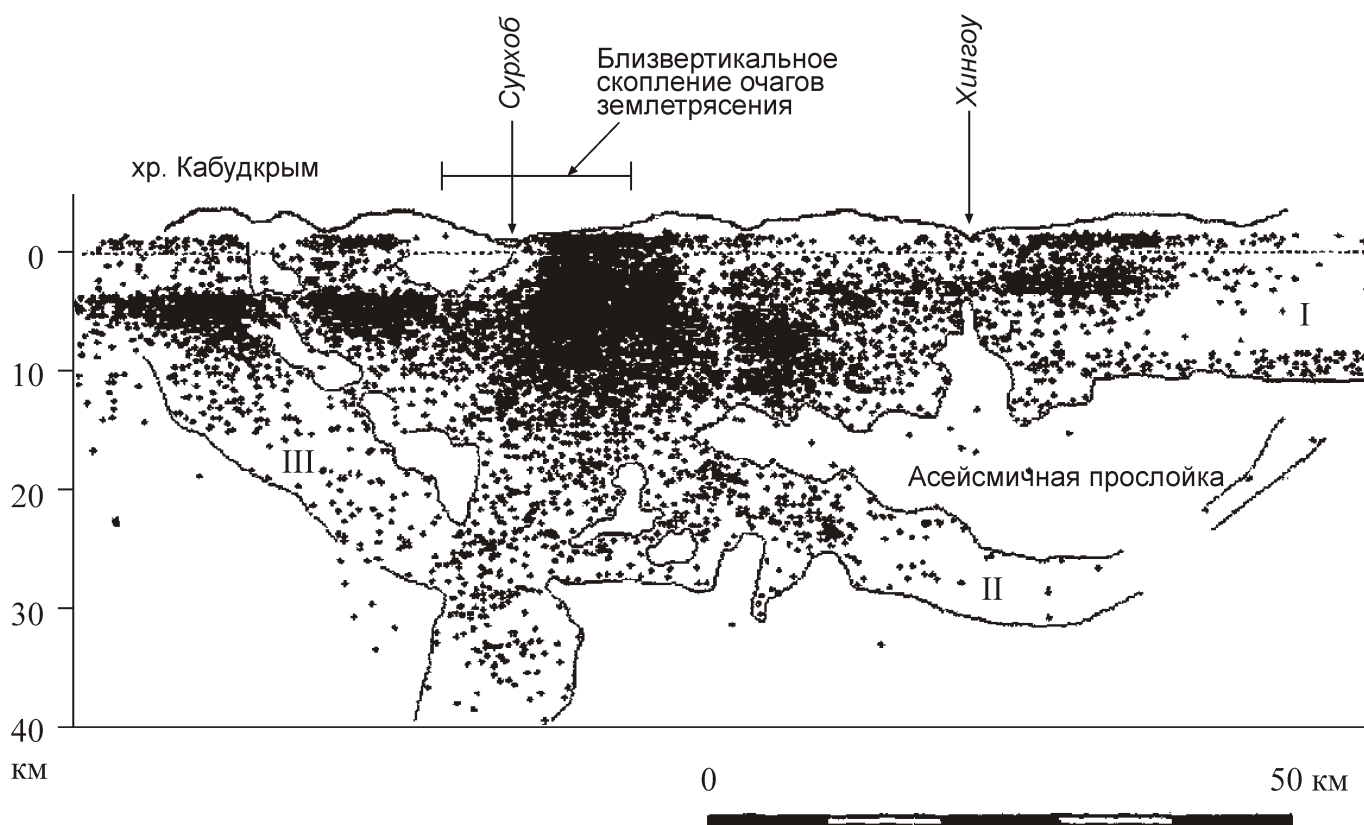


Рис. 11. Вертикальное сечение сейсмического поля вдоль меридиана 70,5 в.д. через скопление относительно глубоких землетрясений в земной коре Таджикской депрессии в полосе сечения 0,2 дуги, по данным А.М.Шевченко и др., 2011:

структурные элементы в трехмерном поле сейсмичности: I — верхний сейсмогенный слой, II — средняя «сейсмогенная дуга», III — нижняя «сейсмогенная полудуга»

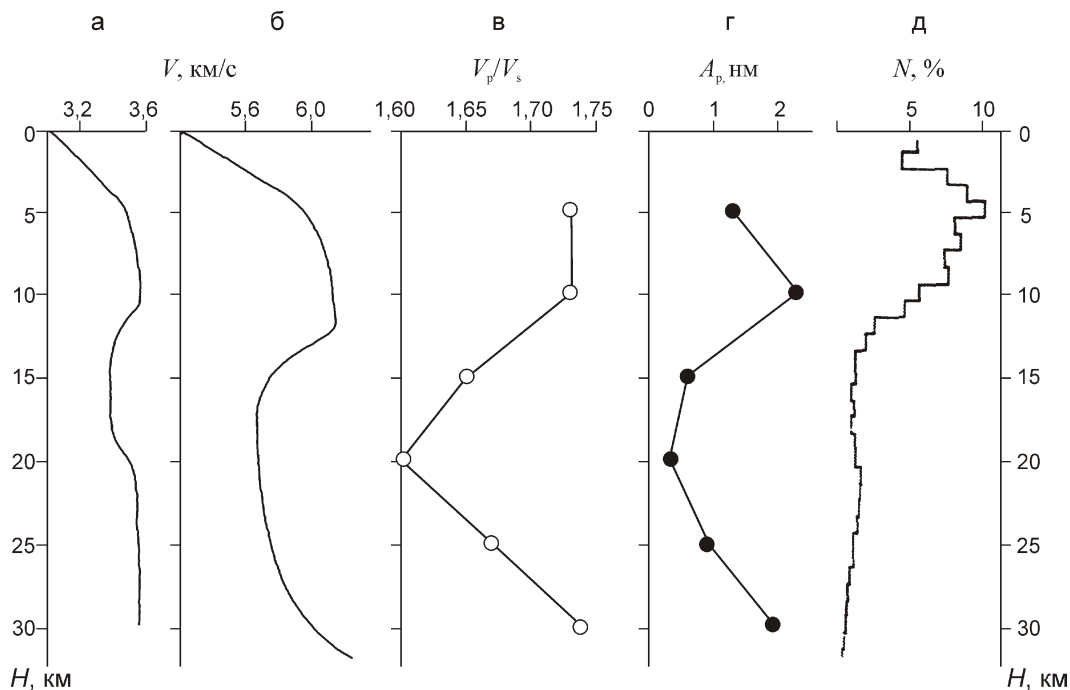


Рис. 12. Распределения с глубиной различных сейсмологических характеристик земной коры центральной части Таджикской депрессии (Гармский район):

оптимальный скоростной разрез земной коры: а — для поперечных S-волн и б — для продольных P-волн; в — распределение с глубиной величины отношения скоростей упругих волн V_p/V_s ; г — нормированные на энергетический уровень источника сейсмического излучения амплитуды первых вступлений продольной волны A_p (в нм) в зависимости от глубины источника на эпицентральных расстояниях 80—140 км (для меньших расстояний глубины сейсмического излучателя максимальные, для больших расстояний — минимальные); д — распределение с глубиной числа землетрясений N с энергетическими классами $K \leq 6$ за период 1973—1980 гг. в широкой окрестности геологического профиля вкострости тectонических структур Таджикской депрессии; данные: а—г — И.Л.Нерсесова, Л.С.Чепкунаса, 1970 и д — В.С.Гусевой и др., 1983

В заключение следует отметить, что техногенные землетрясения и расшифровка их механизма приоткрыли дверь к пониманию глубинных землетрясений, но многое еще предстоит сделать.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баренблатт Г.И., Кейлис-Борок В.И., Монин А.С. Фильтрационная модель последовательности землетрясения // ДАН СССР. Т. 296. № 4.
2. Боков В.Н. Изменчивость атмосферной циркуляции — инициатор сильных землетрясений // Известия РГО РАН. 2003. Т. 135. Вып. 6. С. 54—65.
3. Боков В.Н. Когда содрогнется Земля? Краткосрочные прогнозы землетрясений // Наука и жизнь. 2011. № 9. С. 49—59.
4. Грассо Ж.Р., Волян Ф., Фурментро Д., Мори В. Связь между извлечением углеводородов, локальными техногенными землетрясениями и крупными региональными землетрясениями на примере Пиренейского района (пер. с англ.) // Механика горных пород применительно к проблемам разведки и добычи нефти. —М.: Изд-во «Мир»-Эльф Акитен, 1994.
5. Грассо Ж.Р., Фурментро Д. и Мори В. Роль жидкостей в механизме возникновения очагов неустойчивости в верхней части земной коры на примере добычи углеводородов (пер. с франц.) // Механика горных пород применительно к проблемам разведки и добычи нефти. —М.: Изд-во «Мир»-Эльф Акитен, 1994.
6. Добровольский И.П. Теория подготовки тектонического землетрясения. —М.: Изд-во ИФЗ, 1991.
7. Добровольский И.П. Математическая теория подготовки и прогноза тектонического землетрясения. —М.: Изд-во «Физматлит», 2009.
8. Иванников В.И. О природе явления горного удара // ДАН СССР. Т. 320. № 6.
9. Лукк А.А. Слой неустойчивой сеймотектонической деформации — аналог волновода на глубинах 12—30 км в земной коре Таджикской депрессии // Изв. РАН. Сер. физика Земли. 2011. № 4. С. 39—57.
10. Мишин С.В. Модель процесса землетрясения. Физические процессы в очаге землетрясения. —М.: Изд-во Наука, 1980. С. 166—174.
11. Мори В. Оседание буровых платформ на нефтяных промыслах Экофиск: проблема механики горных пород (причины и следствия оседаний, связанных с разработкой нефтяных залежей в Северном море) (пер. с франц.) // Механика горных пород применительно к проблемам разведки и добычи нефти. —М.: Изд-во «Мир»-Эльф Акитен, 1994.
12. Мори В., Грассо Ж.Р., Витлинжер Ж. Газовое месторождение Лак (Франция): контроль за выявленным проседанием и влияние сейсмоактивности на газодобычу (пер. с англ.) // Механика горных пород применительно к проблемам разведки и добычи нефти. —М.: Изд-во «Мир»-Эльф Акитен, 1994.
13. Садовский М.А., Болховитинов Л.Г., Писаренко В.Ф. Деформирование геофизической среды и сейсмический процесс. —М.: Изд-во «Наука», 1987.

Еще раз о проблемах нефтегазоносности

В.Я.ВОРОБЬЕВ, Ю.С.КОНОНОВ (ФГУП Нижне-Волжский научно-исследовательский институт геологии и геофизики (НВНИИГГ); 410012, г.Саратов, ул.Московская, д.70)

Воробьев Виктор Яковлевич, director@nvniigg.san.ru
Кононов Юрий Сергеевич

Once again about the problems of oil and gas potential

V.Ya.VOROB'EV, Yu.S.KONONOV

В журнале «Отечественная геология» в 2012 г. опубликованы две статьи, посвященные проблемам нефтегазоносности [15, 17]. Они весьма различны по содержанию. Однако при этом их сближает критическое отношение к существующим представлениям об органическом происхождении нефти.

Так, например, в статье М.А.Лурье и Ф.К.Шмидта на основе изучения содержания в нефти и угле металлов делаются следующие выводы: «Все это ставит под сомнение большое участие биомассы в нефте- и углегенезе. Предполагать наличие существенных качественных различий между биогенными источниками или процессами их преобразования в нефть и уголь затруднительно.

Наметить подход к объяснению описанных особенностей элементарного состава нефтей и углей позволяет концепция, основанная на признании существенной роли в образовании природных углеводородов эндогенных глубинных флюидов и их различий по составу» [17, с.96]. В то же время заключительная фраза статьи следующая: «Определенное участие биогенного источника возможно как при формировании угольного, так и нефтяного месторождений. Наблюдаемые явления пространственной общности их залегания могут быть связаны с миграцией нефтяного вещества» [17, с.96]. Таким образом, биогенный генезис нефти полностью не отрицается, например, в отличие от И.М.Шахновского [27] или А.И.Тимурзиева [24]. Что же касается упоминаемой миграции нефтяного вещества, то именно она в наибольшей мере определяет существенные различия в элементном составе углей и нефтей, о которых идет речь в статье.

Как известно, основная масса углей, образуемых из захороняемой растительной органики, прежде всего характеризуется положением *in situ*. Кроме того, это главным образом органика гумусового ряда. При нефтегеологических же исследованиях основное внимание принято уделять сапропелитам и изучению ископаемого вещества, именуемого битуминоидами и керогеном. Это органическое вещество рассеяно в массе пород в отличие от углей, образующих однородные массы (пласты), но в принципе по составу они достаточно сходны. В частности, об этом можно су-

дить по результатам изучения витринита. Вместе с тем при биогенезе нефти считается, что он происходит в основном за счет массы именно рассеянного органического вещества. Рассмотрение изменений во времени его содержаний в различных литологических разностях пород показало, что наблюдается четко выраженное соотношение направленности и цикличности в распределении как средних значений содержаний в глинах, песка и карбонатах, так их масс и интенсивности накопления органического вещества.

Многие исследователи отмечают почти полное тождество в изменении содержаний в нефти и битуме различных показателей. При сопоставлении же их важно, что битумоиды являются рассеянным веществом, а нефть — его «рудные концентрации». При этом возможность участия в нефтеобразовании битумной части и углистого остатка органического вещества определяется высокими температурами и давлениями. Кероген является прекрасным исходным продуктом для образования части нефти при высоких температурах. Его современное ископаемое состояние (как и органическое вещество в целом) по отношению к прошедшему нефтеобразованию или нефтегазообразованию может рассматриваться в качестве остаточного продукта указанного процесса. По сравнению с исходным органическим веществом он лишен тех компонентов, которые образовались из него и эмигрировали. Миграция же нефти, образовавшейся из органического вещества, обычно подразделяется на первичную и вторичную. В последнее время показано, что условия ее значительно улучшаются, когда она осуществляется в газорастворенном виде. Именно такой процесс считается определяющим формирование месторождений углеводородов различного флюидального состава [11, 12].

Как известно, в зависимости от фазового состояния углеводородов в залежах их принято подразделять на несколько видов. Это: нефтяные залежи, содержащие только нефть, насыщенную в разной степени газом; газонефтяные, в которых основная часть залежи нефтяная, а газовая (газовая шапка) занимает меньший объем; нефтегазовые, в которых газовая шапка превышает по объему нефтяную часть; газовые зале-

жи с нефтяной оторочкой; газовые залежи, содержащие только газ; газоконденсатные, в газе которых содержится конденсат; нефтегазоконденсатные, содержащие нефть, газ и конденсат. Последнее состояние наиболее сложно и характерно, например, для таких крупнейших месторождений, как Оренбургское и Карачаганакское. Вместе с тем на ряде многопластовых месторождений встречаются залежи с разной флюидальной характеристикой. Приуроченность к тому или иному виду залежей в существенной мере сказывается на химических свойствах нефтей. Например, чем меньше нефть насыщена газом, тем меньше она обычно содержит легких фракций и тем больше обогащена асфальто-смолистыми веществами. Смолы же, как известно, составляют наиболее высокореакционноспособную часть нефти. Соответственно это сказывается и на характерных особенностях взаимодействия с металлами в зависимости от закономерностей структурно-группового состава смол [14].

Вообще же обычно состав нефтей (и конденсатов) принято характеризовать содержанием в них определенного набора химических компонентов. Это — арены, алканы, цикланы, масла, смолы силикагелевые, асфальтены и парафины. Их содержание в различных нефтях существенно меняется. К сожалению, в статье М.А.Лурье и Ф.К.Шмидта [17] сведений о том, какая по составу нефть подвергалась анализу, нет.

Не упоминается в этой статье и получившее в последние десятилетия развитие нафтаметаллогеническое районирование [8]. Оно ориентировано на изучение главным образом тяжелых нефтей, обогащенных асфальто-смолистым веществом, а также битумов. При объединении же нефтей и битумов в единую систему нафтидов сами нафтиды отвечают представлению о битумах в широком понимании, включая нефти мальты асфальты асфальтиты кериты оксикериты гуминокериты [6]. Такой ряд считается характеризующим последовательность изменений свойств битумов (нафтидов) и их химических особенностей, миграции углеводородов. Нафтаметаллогеническими исследованиями установлено, что тяжелые нефти, битумы и асфальты обогащены металлами, обычно относимыми к редким и рассеянным элементам. Их содержание, многократно превышая кларки, может достигать рудных концентраций, особенно в остаточных продуктах переработки. Общая же система металлоносных нефтей и битумов по особенностям концентрации металлов делится на три типа: 1 — ванадиевый и никелево-ванадиевый; 2 — никелевый и ванадиево-никелевый; 3 — цинковый. При выделении типов оно осуществлялось по рассеянному элементу, абсолютная величина концентрации которых составляла не менее 50% от суммарного содержания металлов в нефтях и битумах. Наряду с этим среди металлосодержащих месторождений выделены два типа. Один из них назван органомфильным, другой, вторично-концентрационным

[8], хотя в едином стиле первый тип лучше бы назвать первично-концентрационным.

Здесь возникает также вопрос о генетической сущности самих тяжелых нефтей с повышенными концентрациями в них рассеянных элементов. Очевидно, он в наибольшей мере связан с миграционными процессами и положением таких нефтей в общей системе жидких углеводородов. Она включает нефти тяжелые (нафтеновые) — 1а; нефти средней плотности — 1б; нефти легкие, конденсатообразные — 1в; конденсаты очень тяжелые, нефтеподобные — 11а; конденсаты тяжелые — 11б; конденсаты очень легкие — 11г. [25]. Этот аспект М.А.Лурье и Ф.К.Шмидт также не затрагивают и остается лишь гадать, какая именно нефть подвергалась исследованию на содержание в ней металлов, включая упоминание о ее миграции.

Если же согласиться с точкой зрения о миграции нефти (и вообще жидких углеводородов) в газорастворенном состоянии [11, 12], скорее всего растворение жидких углеводородов в газе должно включать всю их совокупность. Соответственно тяжелые нефти в лучшем случае должны составлять лишь 1/7 от этой совокупности. Однако они по сравнению с нефтями средней плотности и легкими, не говоря уже о конденсатах, обладают гораздо более низкой растворимостью в газе. Поэтому их доля в мигрирующей смеси углеводородов должна быть еще меньше. При формировании залежей (месторождений) распределение углеводородов, скорее всего, происходит по принципу дифференциально-го улавливания.

Вместе с тем рассмотрение генетических типов газовых залежей показало, что часть их не имеет прямой связи с процессами и очагами газообразования. При этом они формируются путем выделения в свободную фазу из водорастворенного состояния в зонах пониженных давлений. Формирование таких залежей наиболее вероятно на инверсионных этапах развития геоструктур. Полученные на юго-востоке Русской и севере Скифской плит значения амплитуд новейших тектонических движений, достигающие 900 м, приводят к коренному перераспределению ресурсов свободного газа как по вертикали, так и по латерали.

На таком фоне наличие современных залежей тяжелых нефтей с повышенной концентрацией наиболее реакционноспособных смол (а также рассеянных элементов) вероятнее всего обязано процессам гипергенеза. С одной стороны, это — дегазация сформировавшихся скоплений углеводородов с потерей наиболее растворимых в газе легких компонентов жидкой фазы. Соответственно теряется та часть углеводородов, которая или вообще не содержит растворенных в ней металлов, или содержит их в крайне незначительных количествах. С другой стороны, тяжелые нефти с повышенной смолистостью и концентрацией рассеянных элементов, правомерно рассматривать в качестве остаточного продукта гипергенеза, а сам его в таком случае — одной из стадий миграции

углеводородов (заклучительная стадия). Когда указанные аспекты игнорируются, сведения о результатах исследования нефтей (и углей) оказываются «анонимными». То же самое относится к заявлению о наблюдаемых явлениях пространственной общности залегания угольных и нефтяных месторождений при отсутствии сведений хотя бы о названиях угольных бассейнов.

Еще один аспект в рассматриваемом плане связан с сопоставлением содержания металлов в углях, нефтях и наземных растениях (сухая масса). Здесь, очевидно, имеется в виду современная флора. Однако ископаемые угли образовались из скоплений соответствующей им по возрасту флоры. Об этом четко свидетельствуют результаты палеоботанических исследований. Чем древнее флора, тем она больше отличается от современной. Различия относятся не только к внутреннему развитию растений (как и биосферы в целом), но и к их взаимодействию с окружающей средой. Изменение таких взаимодействий относится и к концентрации металлов в растениях разного возраста, поскольку развитию биосферы сопутствовала эволюция металлогении [22]. Однако, к сожалению, все затронутые вопросы в статье М.А.Лурье и Ф.К.Шмидта [17] остаются без ответов. Отсутствие же более или менее конкретных данных об объектах исследований порождает настороженное отношение к сделанным выводам.

К сказанному можно добавить, что в статье есть ссылка на исследования углеводородной составляющей общей дегазации Земли [9]. Им соответствует уже упомянутое представление о миграции жидких углеводородов в газорастворенном состоянии [11, 12]. Исследованиями многих авторов подтверждается возможность дальней латеральной миграции, обуславливающей формирование зон нефтегазоаккумуляции. Признание широкой латеральной миграции заставляет по новому взглянуть на методы прогнозирования нефтегазоносности, так как многие геохимические и геотермические параметры могут находиться в несоответствии на тех или иных геологических объектах с их потенциальной нефтегазоносностью. Это необходимо учитывать, прежде всего, при прогнозировании локальной газоносности объектов.

Выявленные в настоящее время закономерности формирования и размещения месторождений нефти и газа свидетельствуют о широкой латеральной миграции углеводородов и позволяют связывать присутствие залежей в разных условиях с процессами миграции в более раннее или позднее время. Однако распределение нефтегазовых залежей по глубине помимо генетических причин связывается и с вертикальной зональностью физических свойств пород. Так, область оптимальных свойств коллекторов находится на глубине 1,5—2 км, где сосредоточена и основная масса залежей углеводородов и их запасов. При миграции же нефтей через различные литологичес-

кие разности пород в условиях разных температур и давлений их состав резко изменяется благодаря хроматографическому фракционированию нефтей под влиянием адсорбционных свойств пород. Интенсивность адсорбции нефтей горными породами находится в прямой зависимости от температуры и давления.

Большая часть углеводородов, входящих в состав нефти, образовалась при температурах 150—300 °С. Определения палеотемператур в осадочном чехле, показали, что наиболее вероятный интервал температур широкой миграции нефти составляет 200—400 °С. В таких температурных условиях, в частности, происходила перекристаллизация карбонатных пород и часто связанная с ней доломитизация. О том, что такие температурные условия существовали в Волго-Уральской провинции, свидетельствуют многочисленные находки сульфидов тяжелых металлов. Данные о палеотемпературах осадочного чехла показали также, что девонские отложения Припятской впадины периодически прогревались до 300 °С. Все это подтверждает вывод о высокотемпературном варианте преобразования органического вещества в углеводородах, включая воздействие ряда процессов локального характера.

Так, при активно развивающейся адсорбции в граничном слое выделяется теплота адсорбции, которая может превышать средние значения и существовать некоторое время. При температуре на фазовой границе в 600—700 °С средняя температура не превосходит 60—70 °С. Локальное изменение температуры граничного слоя происходит и за счет образования двойного электрического слоя, обладающего огромной напряженностью поля (до 10^6 в/см). В этих условиях возможно как нефтегазообразование, так и образование высокотемпературных минералов, локальных проявлений зонной плавки при относительно небольших показателях температуры в общем объеме породы.

Возникновение ударных волн при землетрясениях также способствует не только подобным процессам, но и полимеризации углеводородов. Ее реакции протекают обычно как цепные, когда на короткое время скачком изменяется плотность, температура, давление. Чередование же ударных волн определяет способность нефтематеринских пород не только генерировать, но и удерживать образовавшиеся углеводороды в более спокойные периоды и интенсивно отдавать их в коллектор под действием усиления сейсмического фактора. Это обуславливает их нефтепроизводящее значение даже гораздо выше, чем содержание органического вещества или каталитическая активность глин. К тому же сейсмический фактор, с механическим разрушением вещества должен сопровождаться его химическими изменениями. Согласно одной из гипотез частицы, лежащие на поверхности возникающих трещин, обретают дополнительный запас энергии, как если бы они были нагреты до высокой температуры. Эксперименты, проведенные в институте химической кинетики и горения СО АН

СССР и Физико-техническом институте им. Иоффе АН СССР, показали, что высокие температуры могут возникать локально при механическом разрушении и деформациях, обычных в природных условиях. При этом вначале образовывались продукты, которые обычно выделяются при нагревании до 300—500 С. Затем, когда скорость разрушения возрастала, начинали протекать реакции, идущие лишь при 700 С. Такие процессы, несомненно, влияют также на углеводороды и их миграцию.

Статья В.А.Карпова [15] начинается с пугающей угрозы — скорого истощения запасов нефти при отсутствии ей альтернативной энергетической замены. Сам же В.А.Карпов выход из критической ситуации видит, формулируя его следующим образом: «И это обеспечат геологи, когда перестанут преклоняться перед органической гипотезой образования нефти и антиклинальной моделью формирования скоплений углеводородов».

Органическая гипотеза сдает позиции, но еще сильна и продолжает так или иначе определять ход нефтегазопроисследовательских работ, при этом упускается время для выработки новых подходов, для вовлечения в этот процесс новых регионов» [15, с.90]. Соответственно имеется в виду, что в статье предлагаются и новые подходы, и новые направления работ. По поводу приведенных высказываний, включая довольно пространную цитату, необходимо сделать несколько существенных замечаний. Прежде всего в отношении истощения минерально-сырьевых ресурсов, особенно углеводородного сырья, относящегося к стратегическим видам, в последнее время говорится неоднократно. Другое дело, как это осуществляется. Например, дается количественная оценка ресурсной базы и нефтегазового потенциала [1] или просто очередной раз делаются голословные заявления. К сожалению, в данном случае наглядно представлен последний вариант. Таким образом, и открывающее статью заявление о пугающей перспективе тоже остается голословным. Не лучше в части обоснованности и заявление об отсутствии альтернативной энергетической замены нефти. Другой вопрос, насколько количественно такая замена эквивалента, но она есть. В частности, как известно, она довольно широко обсуждалась на 20 Международном нефтяном конгрессе [7].

Естественно, что один из основных разделов при этом был посвящен вопросам поисков, разведки и разработки нефтяных месторождений. Выделен также специальный блок докладов по газу, включая как бы традиционную газоносность, парагенетически связанную с нефтеносностью. В т.ч. серьезное внимание уделено оптимизации использования попутного газа. Кроме того все больше внимания уделяется добыче газа из сланцев и метана на угольных месторождениях. Существуют оценки запасов газа в сланцах, намного превышающие его запасы в традицион-

ных коллекторах. Непосредственно же в области нефтедобычи одна из актуальнейших задач — повышение пока еще низкого коэффициента извлечения нефти (КИН) из недр. Здесь особый интерес представляло сообщение специалистов компании «Шеврон», которым при добыче тяжелых нефтей удалось поднять КИН с 10 до 70% путем интенсивного теплового воздействия. Столь высокая величина коэффициента извлечения нефти пока является рекордной. Если это достижение удастся сделать рядовым, принципиально изменится общее освоение ресурсной базы нефтедобычи в мире.

На конгрессе также шла речь о полностью альтернативных источниках энергетических ресурсов по сравнению с традиционной или нетрадиционной нефтегазодобычей. Например, биотопливо в промышленных объемах используется в Бразилии. Однако масштабы его увеличения весьма ограничены. Уже стало рядовым использование ГЭС и АЭС, а лидером использования ветровой энергии стала Дания. Все больше внимание привлекает возможность использования и такого природного источника энергии, как солнечная. Таким образом, заявление об отсутствии пока альтернативной замены нефти в качестве энергетического вида минерального сырья следует, по крайней мере, считать необоснованным. Здесь скорее имеют значение две стороны возникающей проблемы. Во-первых, насколько величина альтернативных источников сопоставима с ресурсной базой нефти. Во-вторых, насколько правомерно использование нефти в качестве именно энергетического источника (по Д.И.Менделееву «топить ассигнациями»). Параллельно возникает вопрос, почему изобретение подземной газификации углей более ста лет не получило широкомасштабной реализации, как следовало ожидать. Так что различных альтернатив использования нефти в качестве энергетического сырья отнюдь немало.

По поводу отрицательного отношения В.А.Карпова к органическому происхождению нефти, фактически в статье ничем не обоснованному, речь пойдет несколько ниже. Пока же следует остановиться на том, что, как бы заодно, походя порицается антиклинальная модель формирования залежей нефти (и газа). При этом можно подумать, что в нефтегазовой геологии отсутствуют представления о ловушках неантиклинального типа. На самом же деле, по крайней мере, около трех десятков лет существует детально разработанная классификация залежей нефти и газа литологического и стратиграфического типов [16]. Несколько позже дана оценка закономерностей строения, размещения и формирования стратиграфических залежей нефти и газа [13]. Связь таких залежей с органическим происхождением нефти в наименьшей мере подвергается сомнению. Вместе с тем изначально нефтепоисковые работы были связаны с выходами нефти на поверхность, обусловленными их положе-

нием вблизи разломов. Именно о масштабах миграции углеводородов по ним возникают дискуссии.

Что касается В.А.Карпова, то он, заявляя о региональной нефтегазоносности фундамента, прежде всего, говорит о подходе, открывающем новые направления нефтепоисковых работ. Особенно им выделяется такое высказывание: «...возникла насущная потребность в окончательном признании фундамента регионально нефтегазоносным комплексом со всеми вытекающими отсюда последствиями» [15, с.90]. Наряду с этим он заявляет, что практикам в настоящее время все равно, как образовалась нефть. Очевидно, поэтому сам В.А.Карпов решил занять позицию «над теоретическими спорами». Так, к числу важнейших месторождений в фундаменте им относится Белый Тигр в совокупности с другими месторождениями шельфа Южного Вьетнама. При этом отмечается, что одни исследователи связывают скопления нефти в фундаменте с ее миграцией из осадочных олигоценовых толщ, другие — с глубинной миграцией по разломам и зонам трещиноватости. Вывод же делается такой: «Надо полагать, что правы и те, и другие...» [15, с.92], хотя фактически это невозможно, в частности, из-за наличия здесь в фундаменте пьезоминимума по отношению к осадочному чехлу.

Говоря о региональной нефтегазоносности фундамента, В.А.Карпов несколько детализирует его перспективы, отдавая предпочтение по составу гранитным массивам. При этом, например, не упоминается, что граниты В.И.Вернадский считал переплавленными биосферами [3 и др.], а саму планетарную биосферу в целом — геологически вечной. В последние десятилетия получается все больше фактических данных о признаках биосферного развития Земли, по крайней мере, с раннего протерозоя—позднего архея. Соответственно и возрастной диапазон возможной биогенной генерации нефти очень широк, включая породы, относимые к фундаменту.

Например, установлена закономерная смена преимущественно восстановленного характера пород архея на существенно окисленные породы более поздних этапов развития Земли [10]. Такая тенденция согласуется с исследованием древнейших микрофоссилий, в т.ч. в графитосодержащих образованиях [5, 23]. В самое же последнее время новые возможности возникли с развитием бактериальной палеонтологии [2]. Как бы параллельно сложились представления о фанеросфере, играющей основную роль как в составе самой биосферы, так и в нефтегазообразовании [21].

На необходимость учета докембрийских образований при исследованиях генезиса нефти и газа обращали внимание еще А.В.Сидоренко и Св.А.Сидоренко. Косвенным доказательством огромной роли органического углерода толщ этого возраста, служат прогнозные оценки средних содержаний органического вещества в докембрийских породах.

В частности, довольно высока оценка в отношении «перспектив нефтегазоносности переходного ком-

плекса» древних платформ, исходя из содержания органического углерода и нефтегазопоявлений в формациях рифея и венда главным образом в Предуральском прогибе. Многими авторами процесс нефтегазообразования в этих толщах считается вполне возможным. Учитывается, что в этом районе мощная (6—12 км) толща вендских и рифейских отложений содержит в общем значительную массу органического вещества.

Представляет также значительный интерес изучение изотопных соотношений углеводорода в изверженных и метаморфических породах Кольского полуострова, которое показало, что в протерозойских метаосадочных породах процессы преобразования рассеянного органического вещества могли оказывать значительное влияние на формирование месторождений нефти и газа в вышележащих породах.

Однако, к В.А.Карпову все это как бы «не имеет отношения». Главным образом нефтеносность (нефтегазоносность?) фундамента он связывает лишь с наличием так называемого тектонического блендера. Под ним «автор предлагает понимать тектонически активный разлом с приразломным пространством (областью динамического влияния разлома), в котором происходит одновременное или последовательное смешение флюидов собственных, восходящих (в т.ч. «мантийных») и нисходящих («осадочных»), зависящее от истории и характера тектонического развития разлома» [15, с.92].

В таком контексте, казалось бы, обязательна оценка истории тектонического развития разлома (блендера). Однако в статье В.А.Карпова это делается лишь в отношении специально выделенного Рогожковского месторождения. Здесь указано, что движения блоков вдоль разломов происходили, начиная с наиболее активных этапов триасового времени, вплоть до олигоцена. Наряду с этим говорится о двух регионах с принципиально различным возрастом разломов, хотя об этом не упоминается. Один из них — Южно-Вьетнамский с месторождением Белый Тигр и его спутниками. Совершенно очевидно, что возраст разломов (и зон трещиноватости) постолигоценный. Другой регион — Волго-Уральский. Здесь вполне правомерно выделение разломов разной генерации, включая наиболее древние — дорифейские (доавлакогенные), а также додевонские или предсреднедевонские (предчехольные). Те же, которые затрагивают палеозойский (среднедевонско-артинский) продуктивный этаж, обычно выделяются в качестве предмезозойских и новейших. В принципе их можно сопоставить с дислокациями Западной Сибири, хотя чехол древней плиты дислоцирован слабее. Углы падения пород в нем не превышают первых градусов.

По поводу упоминаемого В.А.Карповым востока Волго-Уральской антеклизы необходимо сделать некоторые уточнения. Прежде всего, работа, на которую в данном случае делается ссылка, в целом отно-

сится лишь к территории Татарстана. Внутри него уже главным объектом внимания в плане возможной нефтеносности фундамента служит Южно-Татарский свод, в пределах которого сосредоточено в палеозойских отложениях осадочного чехла максимальное количество крупных нефтяных месторождений, включая такое крупнейшее, как Ромашкинское. Его даже предлагается именовать супергигантским [19]. Именно благодаря высокой концентрации нефтеносности в осадочном чехле здесь связываются надежды на открытие промышленных скоплений нефти и в фундаменте. Как известно, с такой целью осуществлялось даже бурение сверхглубоких скважин. Однако из заявления о том, что возможность формирования здесь промышленных скоплений нефти считается доказанной, по-видимому, не следует, что такая возможность близка к реальности. Еще менее реально достижение особо глубинного предполагаемого варианта продуктивности фундамента в пределах того же свода [26].

Другое дело — продуктивный этаж осадочного чехла Волго-Уральской нефтегазоносной провинции. Здесь многочисленные исследования о пространственно-временных закономерностях распределения основных показателей нефтегазоносности позволили выяснить факторы, ответственные за формирование месторождений нефти и газа. При этом, например, еще В.Ф.Раабен (1962), рассматривая физико-химические свойства нефтей в пределах Волго-Уральской провинции, пришел к выводу о генетической близости нефтей палеозоя.

К тому же анализ соответствия между масштабами нефтегазообразования и потенциальными ресурсами нефти и газа в различных комплексах отложений по крупным секторам показал, что для Волго-Уральской нефтегазоносной провинции правомерно существование схем формирования месторождений, которые предусматривают массовое перераспределение углеводородов между комплексами. Этому способствовало возникновение разломов, которые стимулировали появление зон разгрузки, вертикальные перемещения флюидов углеводородов.

Затем Г.А.Габриэлянц, М.В.Анисимова и др. (1974), изучив геохимию горных пород и углеводородов Нижнего Поволжья, выделили в разрезе две зоны распространения нефтей с различными геохимическими параметрами. В верхней (гипергенной) зоне (до глубины 1000—1800 м) при этом происходят все основные закономерные изменения нефтей — с глубиной снижается плотность, содержание серы и смол, вязкость, растет содержание легких фракций и др. В нижней (катагенной) — физико-химические свойства нефтей, несмотря на существенное изменение температур и давлений, почти не изменяются.

В статье В.А.Карпова указывается, что в породах фундамента открыты сотни месторождений нефти и газа, включая крупнейшие по запасам. Но при этом

умалчиваются в основном два аспекта. Один из них заключается в том, что фундамент всегда продуктивен наряду с осадочным чехлом, другой относится к соотношению запасов в чехле и фундаменте. К тому же в осадочном чехле открыты многие тысячи месторождений нефти и газа. В пределах только одной упоминающейся Волго-Уральской антеклизы и одноименной нефтегазоносной провинции их открыто гораздо больше тысячи. При этом здесь выявлена связь палеотектоники с продуктивностью разреза [18, 20]. В том числе это позволяет понять, почему наиболее древние отложения осадочного чехла, выделяемые в качестве так называемого терригенного девона, нередко оказываются непродуктивными, а более молодые отложения содержат залежи нефти и газа. Вместе с тем В.А.Карповым специально подчеркивается одна из форм связей продуктивности осадочного чехла и фундамента: «Особое внимание геологов должен привлекать фундамент на «старых» месторождениях, где однозначно установлена восполняемость запасов углеводородов...» [15, с.94]. Подобные соображения уже высказывались, основываясь на сопоставлении утвержденных по месторождению запасов и достигнутого уровня добычи. В.А.Карпов такое условие в отношении продуктивности дополняет существованием тектонического блендера. Однако, однозначность установления восполняемости запасов углеводородов на разрабатываемых месторождениях простым сопоставлением запасов и добычи не достигается. Прежде всего, необходимо иметь в виду, что представление о запасах, не являясь чисто геологической характеристикой, относится к типу несколько условных понятий. В частности, оно в значительной мере зависит от конъюнктуры [1]. Например, в России такой аспект в последнее время получил наиболее яркое воплощение в двояком виде. Во-первых, в 1991—2000 гг. было осуществлено беспрецедентное списание ранее поставленных на баланс жидких углеводородов (нефти и конденсата) по мотивам нерентабельности их разработки в новых условиях [28]. Во-вторых, уже после 2000 г. взамен ранее существовавшей классификации запасов нефти, горючих газов и конденсатов приняты ее новые основы [4]. Различия между указанными классификациями весьма существенны, включая оценку категорийности выделяемых запасов и ресурсов.

Как известно, при подсчете запасов на открываемых и вводимых в разработку месторождениях осуществляется принцип минимизации подсчетных параметров. Это относится даже к геологическим запасам. Для извлекаемых величина КИН обычно определяется с учетом выбора оптимальной схемы разработки месторождения. Делается это на дату оценки запасов месторождения и ввода его в разработку. Однако, добыча нефти или углеводородов в целом осуществляется десятилетиями. За это время появляются и применяются ранее не предусматривавшиеся методы интенсификации добычи и повышения коэф-

фициента извлечения нефти. В этом отношении показательно уже упоминавшееся сообщение специалистов компании Шеврон [7]. К тому же и в России после десятилетия резких списаний запасов в следующем десятилетии уже начинается осуществление частичного их прироста за счет повышения (восстановления) коэффициента извлечения нефти. Делается это, когда вместо поисков новых месторождений выгоднее повысить КИН на уже существующих и разрабатываемых. На них его величина, как правило, меньше 0,5 (50%), причем чаще всего значительно меньше. Поэтому важнейшей задачей в перспективе должна считаться оптимизация разработки месторождений, предусматривающая повышение коэффициента извлечения нефти. Особенно это относится к крупнейшим месторождениям, определяющим уровень запасов и добычи прежде всего жидких углеводородов.

Значительное внимание уделяет В.А.Карпов образованию пьезоминимумов в качестве составной части блендера, отмечая, что это может способствовать образованию скоплений углеводородов в фундаменте за счет их миграции из осадочного чехла. В частности, он пишет: «Наличие таких пьезоминимумов — серьезная основа для утверждения существующей в настоящее время или недавнем прошлом нисходящей фильтрации флюидов» [15, с.93]. Тем не менее сам он, признавая значение пьезоминимума для нисходящей фильтрации, склонен рассматривать вариант смещения «мантийных» и «осадочных» углеводородов, не приводя доказательств «мантийных».

Высказанные замечания и соображения, не охватывая в целом всей дискуссионности вопросов, рассматриваемых в указанных статьях, затрагивают лишь те аспекты, которые представляют наибольший интерес.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алферов С.Е. Ресурсная база и нефтегазовый потенциал различных регионов и стран мира // Геология, геофизика и разработка нефтяных месторождений. 1994. № 1. С. 6—15.
2. Бактериальная палеонтология / Под ред. А.Ю.Розанова. — М.: Изд-во ПИН РАН, 2002.
3. Вернадский В.И. Химическое строение биосферы Земли и ее окружения. — М.: Наука, 1965.
4. Габриэлянц Г.А. Основы классификации запасов и ресурсов нефти и горючих газов // Отечественная геология. 2007. № 4. С. 3—11.
5. Галецкий Л.С., Польский Ф.Н., Таранюк М.Ф. Углеродсодержащие формации Украинского щита и их рудоносность // Геологический журнал. — Киев: Наукова думка, 1986. Т. 46. № 1. С. 3—21.
6. Геологический словарь. Т. 2. — М.: Недра, 1973.
7. Гогоненков Г.Н. О 20 Мировом нефтяном конгрессе // Геофизика. 2012. № 1. С. 3—7.
8. Гольдберг И.С. Нафтаметаллогенические провинции мира и генезис рудных концентраций в тяжелых нефтях и битумах // Геология нефти и газа. 1990. № 3. С. 2—7.
9. Дмитриевский А.Н., Валяев Б.М. Углеводородная ветвь дегазации в исследованиях по проблеме «Дегазация Земли» / Дегазация Земли: геодинамика, геофизика, нефть газ их парагенезы. — М.: ГЕОС, 2008. С. 3—6.
10. Дроздовская А.А. Некоторые геологические приложения физико-химической модели глобального железонакпления в раннем протерозое // Докл. АН СССР. 1986. Т. 287. № 2. С. 418—422.
11. Иванников В.И. Миграция углеводородов и ее движущие силы // Геология, геофизика и разработка нефтяных месторождений. 2000. № 3. С. 21—23.
12. Иванников В.И. Нефтерожение и нефтенакпление // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2008. С. 48—49.
13. Кабышев Б.П. Закономерности строения, размещения и формирования стратиграфических залежей нефти и газа // Геология нефти и газа. 1995. № 2. С. 10—12.
14. Камьянов Б.Ф., Горбунова Л.В. Закономерности в структурно-групповом составе смол // Геология нефти и газа. 1990. № 6. С. 32—34.
15. Карпов В.А. Фундамент — региональный нефтегазовый комплекс // Отечественная геология. 2012. № 6. С. 90—91.
16. Керимов В.Ю. Системный подход к классификации залежей нефти и газа стратиграфического и литологического типа // Вопросы системного анализа в теории и практике прогнозирования и поисков скоплений нефти и газа. — М.: Изд-во МИНХ и ГП, 1985. С. 70—77.
17. Лурье М.А., Шмидт Ф.К. Угле- и нефтеобразование. Существует ли связь? // Отечественная геология. 2012. № 6. С. 95—96.
18. Машикович К.А. Методы палеотектонических исследований в практике поисков нефти и газа. — М.: Недра, 1970.
19. Муслимов Р.Х. Новый взгляд на перспективы развития супергигантского Ромашкинского нефтяного месторождения // Геология нефти и газа. 2007. № 1. С. 3—12.
20. Неволин Н.В. Возраст структур и их нефтегазоносность // Геология нефти и газа. 1999. № 11—12. С. 9—12.
21. Соколов Б.А., Хаин В.Е. Нефтегазовая геология в XXI веке: прогноз развития // Вестник МГУ. Сер. геология. 2002. № 1. С. 3—5.
22. Старостин В.И., Сорохтин О.Г. Эволюционная металлогения // Бюлл. МОИП. Отд. геол. 2003. Т. 78. С. 3—12.
23. Тимофеев В.В. Микрофоссилии раннего докембрия. — Л.: Наука, 1982.
24. Тимурзиев А.И. Об организации «Кудрявцевских чтений» — Всероссийской конференции по глубинному генезису нефти и газа // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2012. № 3. С. 54—56.
25. Тихомиров В.И. Распознавание типов пластовых флюидов по составу n-алканов // Геология нефти и газа. 1991. № 8. С. 20—23.
26. Трофимов В.А., Корчагин В.И. Развитие представлений о формировании месторождений нефти (с позиций их глубинного происхождения) // Геология нефти и газа. 2005. № 3. С. 53—54.
27. Шахновский И.М. Некоторые дискуссионные проблемы нефтяной геологии // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2003. № 2. С. 14—22.
28. Шелепов В.В. Обеспечить энергетическую безопасность России // Использование и охрана природных ресурсов России. 2001. № 2. С. 38—41.

О некоторых особенностях связи соле- и нефтегазоаккумуляции

В.А.КАРПОВ («Институт инновационных технологий и методов управления недропользованием» («ИТиМУН»); 115054, г.Москва, ул.Дубининская, д.57, стр.2)

Карпов Валерий Александрович, karpov@iitnedra.ru

On some peculiarities of spatiotemporal communication salt accumulation and oil and gas accumulation

V.A.KARPOV

Проблема связи соле- и нефтегазоаккумуляции обсуждается давно. Вопросам соляной тектоники в нефтегазоносных областях посвящены многие работы, проведен ряд симпозиумов, подчеркнут определенный прогресс в решении этой проблемы, однако многие разногласия до сих пор не устранены.

В качестве объекта, на примере которого можно оценить состояние этой проблемы, можно определить Припятский прогиб, являющийся уникальным солянокупольным регионом, что обусловлено, по крайней мере, двумя факторами: наибольшей изученностью отложений, залегающих под соленосными толщами, и почти всеми переходными формами нефтегазоперспективных и соляных структур, отражающими различные этапы развития региона.

Все дискуссии, посвященные вопросам формирования соляных структур и отталкивающиеся от возможности пластичного перемещения соляных масс, ведутся главным образом вокруг проблемы «первотолчка». Одни исследователи видят причину галокинеза в тектонических движениях [17, 21], другие — в процессах, происходящих внутри соленосной толщи [1, 2, 21]. Есть и третьи, отрицающие соляной тектогенез.

В настоящей работе делается попытка увязать некоторые объективно существующие связи отдельных элементов геологии прогиба, касающихся соляной тектоники и нефтегазоносности.

Наибольший интерес представляют соляные поднятия верхнефаменской соленосной толщи, состоящие из галитовой (раннелебедянская) и глинисто-галитовой (позднелебедянская) подтолщ.

Нижняя (галитовая) подтолща составляет большинство положительных соляных структур и является индикатором соляного тектогенеза. Это связывается с *отложением ее в относительно глубоководных условиях, подготовленных некомпенсированным прогибанием во время накопления межсолевой карбонатной формации, обусловивших относительно простое строение субформации, и ее малоциклический характер, мономинеральность соли* [17]. Такое строение галитовой подтолщи свидетельствует о том, что она отлагалась в относительно спокойных условиях, вне влияния блоковых подвижек, затухших на стадии регрессии и замыкания бассейна в

предлебедянское время. Возобновление этих подвижек произошло после предпозднелебедянского перерыва в осадконакоплении [19] и обусловило привнос пелитового материала, о чем свидетельствует строение глинисто-галитовой подтолщи.

Седиментация подтолщи происходила в условиях расчлененного эрозионно-тектонического рельефа [17]. Спокойный тектонический режим и расчлененный рельеф дна бассейна — вот те условия, в которых закладывался базис соляных структур. Представляется, что древний рельеф не был компенсирован галогенными осадками, а отразился в строении всей соленосной толщи, то есть на участках предлебедянских поднятий, сохранившихся в раннелебедянское время, формировались соляные подушки. Такая особенность отложения раннелебедянской субформации легко объясняется с помощью модели Л.Л.Слосса [20], который считает, что в солеродных бассейнах обычно наблюдается *стратификация вод на верхний разбавленный слой и нижний, плотный слой более соленых вод, которые разделены отчетливой зоной — «пикноклином»*. Отмечено, что пикноклин в целом повторяет неровности резервуара седиментации, а активное осаждение галита происходит при обнажении насыщенного (нижнего) слоя на поверхности воды. Наибольшее количество галита осаждалось там, где имело место пересечение *пикноклина с поверхностью, положение которого отмечалось очень быстрым накоплением соли и развитием резко выраженного гребня или холмика на дне*, то есть именно в пределах древних положительных форм рельефа следует, прежде всего, ожидать обнажение насыщенного слоя и, как следствие, появление соляных подушек (рис. 1). Не случайно В.Л.Курочка [17] пришел к выводу, что соляные структуры образовались в результате формирования крупных эрозионных соляных форм рельефа и его облегания вышележащими соляными пачками и надсолевыми отложениями. И не случайно в разрезах верхнесоленосной толщи фиксируется (над этими поднятиями) вышеупомянутый перерыв в осадконакоплении на рубеже галитовой и глинисто-галитовой подтолщ.

Кроме того, справедливость этой модели доказывается анализом строения верхнесоленосной толщи в

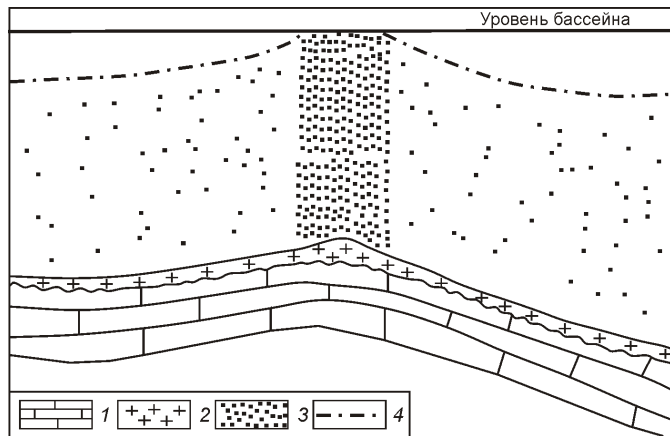


Рис. 1. Схема отложения галита в условиях предлебедянского рельефа, по модели Л.Л.Слосса:

1 — межсолевые отложения; 2 — галит; 3 — зона интенсивной садки соли; 4 — пикниклин

условиях развития предлебедянских эрозионных врезов на участке минимального проявления галокинеза. Бурением установлено, что в общем случае над врезом откладываются максимальные мощности глинистых разностей (в основном в глинисто-галитовой подтолще) и минимальные мощности галитовых слоев (в галитовой подтолще), а над куэстами наоборот, минимальные мощности глинистых и максимальные — галитовых слоев [18]. Так или иначе, устанавливается облекающий характер залегания предлебедянских внутрисолевых отложений. Такую ситуацию трудно объяснить галокинезом, так как в случае «течения соли» галитовые пласты галитовой подтолщи в связи с проявлением соляной тектоники выклинились бы в районе образовавшейся мульды. Напротив, облекающий характер залегания внутрисолевых горизонтов галитовой подтолщи указывает в большинстве случаев на седиментационную природу таких соляных структур (рис. 2). На устойчивости такого свойства не сказывается даже влияние галокинеза верхнефранской соленосной толщи (Сосновская площадь).

Таким образом, следует констатировать, что между рельефом предлебедянской поверхности и строением галитовой субформации существует устойчивая связь, которая подготовила к позднелебедянскому времени необходимые условия для соляной тектоники, выраженные в виде достаточно контрастной дифференциации предпозднелебедянского рельефа. Последующие тектонические движения по разломам на различных этапах формирования Припятского прогиба стимулировали галокинез, обеспечивший многообразие типов соляных структур, описанных в классификации В.С.Конищева [17].

Касаясь связи соли и нефти, многие исследователи соляным отложениям отводили роль экранирующей среды или (при структурообразовании) фактора,

определяющего появление различного рода ловушек нефти и газа вблизи соляного поднятия в надсолевых отложениях. Предложенная автором модель формирования соляных структур Припятского прогиба позволяет использовать соленосные отложения в качестве индикатора прогнозирования размещения нефтяных залежей в подстилающих соль отложениях. Если до сих пор можно было констатировать существование пространственной связи большинства соляных поднятий и залежей нефти, то теперь необходимо говорить о наличии их генетической связи, обусловленной особой геотектонической обстановкой, причем, эта связь имеет вполне конкретную форму.

Первый опыт определения формы связи приведен в работе [3], где показано, что нефтесодержащие земли можно отделить от прочих путем построения графика $d f(I)$, где d — мощность допермских надсолевых отложений, I — мощность галитовой подтолщи. Поскольку мощности отмеченных отложений отражают характер куполообразования и одновременно позволяют выделять участки, контролируемые залежи нефти, то использование графиков $d f(I)$ есть практическая реализация возможностей рассматриваемой модели формирования соляных структур. Опыт показал, что в большинстве случаев линию, разграничивающую нефтеперспективные земли и бесперспективные, можно описать уравнением типа $d B A I$, а положение нефтеперспективных земель

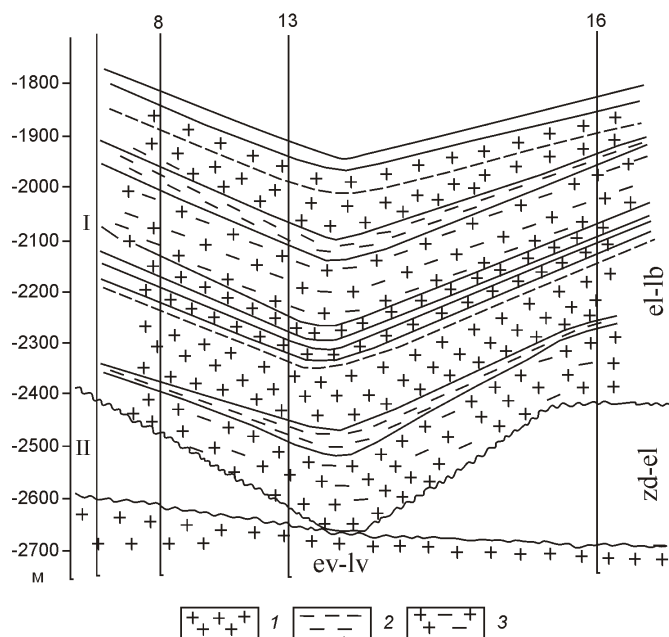


Рис. 2. Схема строения верхнесоленосной толщи в условиях предлебедянского эрозионного вреза (Мармовичская площадь):

слои преимущественно: 1 — галитовые, 2 — глинисто-карбонатные; 3 — переслаивание галитовых и негалитовых слоев; толщи: I — глинисто-галитовая, II — галитовая

должно удовлетворять условиям $d \propto A \cdot B$, где A и B — константы, определяющие поведение этой линии.

Предложенная модель формирования соляных структур справедлива только для одной, наиболее распространенной группы соляных поднятий конседиментационного типа, в различной степени осложненных галокинезом. В Припятском прогибе есть и другие — наложенные поднятия и структуры типа щита черепахи, являющиеся постседиментационными, как следствие галокинеза.

Структуры типа щита черепахи могут сформироваться вследствие инверсионного подъема блоков фундамента в послекамменноугольное время. Постседиментационные поднятия не контролируют залежи нефти. В их пределах можно ожидать только скопление газа и самых легких фракций нефти, скорее всего, в крыльевых и периклинальных частях структур. Приведенная связь соляных структур и контролируемых ими нефтеперспективных земель справедлива, прежде всего, для межсолевых отложений, поскольку, как это было отмечено, предпозднекембрийский рельеф унаследует основные черты предкембрийского структурно-эрозионного плана.

Справедлива эта связь и для подсоевых отложений, но только там, где наблюдается унаследованное тектоническое развитие структур в воронежско-елецкое время (то есть на этапе заложения авлакогена) и это характерно, прежде всего, для структур севера прогиба. В центре и на юге прогиба большинство структур подсоевых отложений в это время претерпевали перестройки, и связь ослабевала. Однако влияние галокинеза можно исключить с помощью изучения характера развития предворонежских структур в воронежско-елецкое и более позднее время [4].

Припятский прогиб уникален тем, что здесь как нигде изучены залежи нефти, связанные с разломами, раньше всех стали готовить под глубокое бурение приразломные структуры, белорусские геологи ближе всех подошли к пониманию истинной роли разломов в нефтегазонакоплении. Как известно, большинство положительных структур, контролирующих залежи углеводородов, являются структурами древнего заложения и длительного унаследованного развития: в Припятском прогибе — это практически все месторождения Северной структурной зоны. Но, к сожалению, такие объекты в данном регионе уже исчерпаны. Месторождения представлены главным образом тектонически экранированными ловушками и занимают головные части моноклинальных блоков (то есть являются неантиклинальными), группирующихся вдоль субширотных рифтогенных разломов в узлах пересечения с субмеридиональными доплатформенными разломами. При этом все эти месторождения контролируются предпермскими поднятиями. И так как в северной части Припятского прогиба в послекамменноугольное время перестроек структурного плана не наблюдалось, то «структурная» мето-

дика размещения скважин здесь увенчалась успехом. В центре и на юге прогиба в пермо-триасе наблюдались масштабные перестройки структурного плана, что и определило низкую эффективность нефтепоисковых работ, основанных на том же «структурном» подходе ведения нефтепоисковых работ. Природные резервуары углеводородов претерпели глубокие преобразования во время рифтогенеза на этапах растяжения и сжатия, имевших место вплоть до среднего триаса, что создало основу для развития «неструктурных» (неантиклинальных) ловушек различного генезиса и морфологии [5].

Особенности тектонического развития Припятского прогиба предопределили развитие значительного спектра «неструктурных» ловушек, помимо тектонически экранированных, так или иначе связанных с разломами.

В саргавском горизонте (при обводненности вышележащего семилукского) образовались литологически экранированные ловушки за счет бокового экрана при изменении регионального наклона в процессе рифтогенного разломообразования (Притокская и другие площади).

В межсоевой толще за счет этого же процесса формируются ловушки, связанные с расформированными древними поднятиями (Южно-Вишанская площадь), палеогеоморфологические ловушки, обусловленные предкембрийским эрозионным врезом (Восточно-Вишанская площадь), клиноформенными образованиями (Восточно-Выступовичская площадь), так же подконтрольными рифтогенными разломами.

Особое место среди «неструктурных» ловушек занимают ловушки, прямо связанные с областями динамического влияния разломов, зонами вторичной трещиноватости, катагенетически запечатанные залежи углеводородов. Они имеют ряд особенностей:

залежи образуются одновременно с формированием ловушек [5, 6] и являются самыми молодыми (триас и позднее); локализация максимумов разуплотнения (участки вторичных скоплений углеводородов) определяются изменением тектонической напряженности вдоль активного разлома, мощностью и литологией продуктивных горизонтов. Избирательность разуплотнения (трещинообразования) приводит к смещению скоплений углеводородов как по площади, так и по разрезу. В результате под водоносными породами, подвергшимися разуплотнению в малой степени, могут существовать залежи в породах, претерпевших интенсивное трещинообразование (Южно-Валавская, Кузьмичевская, Чисто-Лужская площади). Развитие залежей ожидается в любой части разреза вплоть до кристаллического фундамента вне зависимости от структурного плана, подчиняясь геометрии зоны разуплотнения вдоль разлома. Опосредственное влияние разломов через галокинез нижнесоевой толщи обнаружено при изучении залежей в межсоевой толще в подошвенной (Камен-

ская и Южно-Домановичская площади) и кровельной (Золотухинская площадь) частях толщи. В ряде случаев залежи подчинены не субширотным (рифтогенным) разломам, а субмеридиональным (доплатформенным) разломам, ожившим в пермо-триасе (Комаровичская, Савичская, Притокская площади).

Активные в пермо-триасе разломы обладают рядом существенных свойств: аномальной прогремостью недр, повышенной магнитной напряженностью, локальными гравиминимумами. Причем, если сопоставить грави- и магнитное поля, то на корреляционных графиках при наличии региональной прямой связи этих параметров наблюдается приуроченность нефтегазосодержащих земель к избыточным значениям магнитной напряженности. Влияние разломной тектоники на флюидодинамику очевидно. При тектонической активизации движение флюидов в зонах разломов и прилегающем пространстве осуществляется в направлении максимального проявления дилатансии. Скачкообразный характер землетрясений, их вибрационный эффект определяет направленность и масштабы ремиграции и локализации вторичных залежей. В общем случае происходит трансформация совокупности латерально чередующихся и соподчиненных залежей углеводородов (антиклинальных и др.) в совокупность вертикально чередующихся приразломных скоплений (месторождение), из субгоризонтального ряда — в субвертикальный, с появлением положительных структур, лишенных углеводородов.

Центр максимальной тектонической активности в пермо-триасе — Домановичско-Заозерная субмеридиональная (возрожденная доплатформенная) зона дислокаций, несущая признаки сдвиговой природы и контролирующая наибольшее число обнаруженных (и прогнозных) вторичных залежей углеводородов [6].

Испытав геодинамическую переработку, первичные ловушки углеводородов претерпели изменения различной глубины с образованием вторичных скоплений, став вместе с последними в определенной и разной мере сейсмогенными, тектонозависимыми. Залежи, приуроченные к поднятиям древнего заложения и длительного унаследованного развития при условии сохранения унаследованности, сохраняют свое положение, объем и геометрию. Но нередко эти поднятия по активному разлому ассоциируют с отрицательными структурами, которые являются «агрессорами» по отношению к первичным залежам, и в момент последней активизации разлома происходит частичное или полное ее разрушение с образованием вторичных залежей в приразломной зоне отрицательной структуры [7].

Как известно, успешность изучения любых ловушек (а неантиклинальных — в первую очередь) в огромной степени определяет априорная геологическая модель. Используя новые технологии и подходы, добываются новые факты, на основе которых уточня-

ется геологическая модель, в свою очередь заставляющая искать и применять новые подходы для получения новых фактов и др.

Поскольку очевидно, что с глубиной резко возрастает роль разломной тектоники [7], необходимо, чтобы модель в качестве главного элемента, контролирующего нефтегазоносность, содержала разломное образование со всеми статическими и динамическими характеристиками.

Изучение динамических характеристик разлома и оценка их роли в нефтегазонакоплении неизбежно приводит к геологической модели тектоноблендера [8], объясняющей все многообразие тектонозависимых ловушек углеводородов, все процессы, происходящие в системе «порода—флюид».

Под тектоноблендером понимается активный (в определенном пространственно-временном интервале) разлом с приразломным пространством (областью динамического влияния разлома), способствующий смещению флюидов (иногда и породы) различного состава при определенных тектонофизических условиях (активизации разлома).

Необходимо различать этапы развития тектоноблендера: активные и пассивные.

На активном этапе происходит образование пьезоминимума (вплоть до вакуума), обеспечивающего как вертикальную, так и латеральную миграцию флюидов с их смещением в (при)разломном пространстве.

На пассивном этапе происходит релаксация тектонофизической напряженности, распад пьезоминимума с распределением углеводородов вдоль (при)разломного пространства сообразно его физико-механическим характеристикам.

Если тектоноблендер — это разлом с приразломным пространством, то здесь необходимо подчеркнуть, чем тектоноблендер, являясь более широким понятием, не совпадает с «обыкновенным» разломом, представляющим собой статическое тектоническое образование, способное иметь на определенных этапах динамическое развитие с формированием области динамического влияния этого разлома, размеры которой и интенсивность трещинообразования в ее пределах зависят от типа разлома (сброс, взброс, сдвиг, надвиг), от амплитуды и угла наклона сместителя, от толщин и вещественного состава различных комплексов пород, попавших в эту область.

Любой практикующий геолог-нефтяник может найти на изучаемых месторождениях свидетельства влияния тектоноблендера. Практически на каждом месторождении есть активный разлом, влияние которого наблюдается на временных разрезах, во время проводки скважин, в кернах, в процессе разработки и др.

Дата последней активизации тектоноблендеров в Припятском прогибе — пермо-триас. В это время оформилась окончательная картина распределения

скоплений углеводородов в центре и на юге прогиба, определенная системой тектоноблендеров преимущественно субмеридиональной зональности.

Перестройка структурного плана на завершающем этапе, сопровождаемая галокинезом, осложнила условие сохранности ловушек и в надсолевых отложениях. Здесь также вероятно развитие ловушек, связанных с тектонической (тектоноблендерной) трещиноватостью. Наибольший интерес представляют вторичные компенсационные мульды [9], являющиеся частью древних (предпермских) поднятий, в пределах которых прямые признаки нефтегазоносности имеют наиболее представительный характер (Северо-Кустовницкая, Северо-Каменская, Северо-Прудокская, Цидовская и другие мульды).

Таким образом, в нефтегазоносных регионах с соленакоплением (например, в Припятском прогибе) может наблюдаться пространственно-временная связь между соленакоплением, куполо-, разломообразованием (с активным проявлением тектоноблендеров) и нефтегазоносностью всех нефтегазоперспективных толщ, что должно лечь в основу применяемой здесь методики нефтегазопроисловых работ [10–16], причем, формы связи этих характеристик могут иметь некоторые различия, что следует учитывать при ведении геологоразведочных работ на нефть и газ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Калинко М.К.* Соленакопление, образование соляных структур и их влияние на нефтегазоносность. —М.: Недра, 1973.
2. *Калинко М.К.* От редактора // Соленакопление и соленосные отложения осадочных бассейнов (в освещении зарубежных ученых). —М.: Недра, 1972.
3. *Карпов В.А.* О повышении эффективности нефтепоисловых работ в Речицко-Вишанской зоне поднятий // Экспресс-информация «Нефтегазовая геология и геофизика». 1975. № 3. С. 1—6.
4. *Карпов В.А.* Особенности формирования соляных структур в Припятском прогибе и связь их с нефтегазоносностью // Тектонические исследования в Белоруссии. —Минск: Наука и техника, 1983. С. 93—97.
5. *Карпов В.А., Колдашенко Т.В., Черевко Т.А.* Перспективы нефтегазоносности девонских отложений южной части Припятского прогиба // Нефтегазоносность западных районов Европейской части СССР. —М.: ВНИГНИ, 1986.
6. *Карпов В.А.* Условия формирования скоплений углеводородов в центральной и южной частях Припятского прогиба // Нефтегазовая геология и геофизика. 1982. № 6. С. 12—14.
7. *Карпов В.А.* Разлом — как объект изучения при нефтегазопроисловых работах // Недропользование-XXI век. 2011. № 6. С. 2012. № 1.
8. *Карпов В.А.* О роли тектонического блендера в нефтегазонакоплении // Недропользование-XXI век. 2012. № 4. С. 56—63.
9. *Карпов В.А., Колдашенко Т.В., Черевко Т.А.* и др. Некоторые особенности геологического строения и распространения нефтеперспективных объектов в надсолевых отложениях Припятского прогиба // Методы прогнозирования и изучения залежей нефти и газа. —Минск: БелНИГРИ, 1986. С. 172—191.
10. *Карпов В.А.* Фундамент — региональный нефтегазоносный комплекс // Отечественная геология. 2012. № 6. С. 90—94.
11. *Карпов В.А.* О тектоническом блендере — региональном природном образовании в фундаменте // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. ВНИИОЭНГ. 2013. № 1. С. 18—23.
12. *Карпов В.А.* Перспективы нефтегазоносности Московской синеклизы (по модели тектоноблендера) // Недропользование-XXI век. 2012. № 6. С. 74—80.
13. *Карпов В.А.* Состояние и перспективы развития нефтегазопроисловых работ в Западной Сибири // Геология нефти и газа. 2012. № 3. С. 2—6.
14. *Карпов В.А.* Перспективы выявления новых залежей нефти в пределах и вблизи старых месторождений // Нефтяное хозяйство. 2012. № 3. С. 20—23.
15. *Карпов В.А.* К вопросу оптимизации методики нефтегазопроисловых работ // Недропользование-XXI век. 2011. № 5. С. 72—75.
16. *Карпов В.А.* Как ищут нефть, или время собирать камни // Нефтегазовая вертикаль. 2012. № 7. С. 44—47.
17. *Конищев В.С.* Соляная тектоника Припятского прогиба. —Минск: Наука и техника, 1975.
18. *Кусов Б.Р., Карпов В.А.* К вопросу выделения структурных стратиграфических ловушек нефти и газа в межсолевых отложениях прогиба // Прогноз нефтегазоносности и направление поисков нефтяных месторождений в Припятском прогибе. —Минск: БелНИГРИ, 1976. С. 107—109.
19. *Ржаников В.Е., Попов В.М.* О наличии перерыва в осадконакоплении на границе галитовой и глинисто-галитовой толщ верхнесолевого комплекса Припятской впадины // Мат-лы IV науч. конф. молодых геологов Белоруссии. —Минск: БелНИГРИ, 1971. С. 13—14.
20. *Слосс Л.Л.* Отложения эвапоритов из расслоенных растворов // Соленакопление и соленосные отложения осадочных бассейнов (в освещении зарубежных ученых). —М.: Недра, 1972. С. 73—97.
21. *Условия образования и особенности нефтегазоносности солянокупольных структур.* —Киев: Наукова думка, 1966.

Рассуждение об организации знания в геологии

Р.И.ГОЛОУДИН (ФГУП Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им.А.П.Карпинского (ВСЕГЕИ); 199106, г.Санкт-Петербург, Средний пр., д.74)

Голоудин Равиль Иванович, goloudin@mail.ru

Reasoning about the organization and knowledge in Geology

R.I.GOLOUDIN

Науку можно определить как логически организованную познавательную деятельность человека, цель которой — выработка непротиворечивых и взаимосвязанных знаний об объектах и явлениях окружающего мира. Она позволяет не только описывать природные и общественные феномены, но и выявлять причинно-следственные связи, создавать модели объективной реальности и на этой основе прогнозировать поведение этой реальности. Требование логической организации знания обязательно для всех наук, но для геологии оно имеет особое значение, так как геолог лишен возможности наблюдать многие процессы и явления, происходившие на планете на протяжении миллиардов лет, и может только по отдельным фрагментам воссоздать целостную картину. Вследствие этого в геологии очень важную (если не определяющую) роль играет так называемое «выводное знание», полученное путем логического осмысления опытного эмпирического знания, и нужно отчетливо осознавать: «то, что совершалось на Земле до появления геолога или вообще человечества, восстанавливается только в мыслях геолога, причем неизбежно с ошибками, почему эти мысли и могут быть лишь в лучшем случае логически, а не фактически истинными» [14, с.21].

Одним из главных условий научной (логической) организации знания является выработка строгих и однозначных дефиниций, общепринятой и обязательной для всех системы понятий и символов (как вербальных, так и знаковых), при этом каждому символу должен соответствовать один, и только один смысл. Не менее важна и систематизация объектов изучения. В некоторых определениях науки как общественного феномена общим, как правило, является то, что наука — это *систематизированное знание* (словари определяют систематизацию как мыслительную деятельность, в процессе которой изучаемые объекты организуются в определенную систему на основе выбранного принципа). Классификация — распределение объектов по группам на основе установления сходства и различия между ними — один из важнейших видов систематизации. Анри Пуанкаре не без основания утверждал, что *наука — это прежде всего классификация*.

Сразу следует оговориться, что методологически неправильно пытаться создать «естественную» систему понятий и терминов, распределить объекты изучения по каким-либо «естественным» категориям, классам и др. Дело в том, что всякую реальность (в т.ч. и геологическую) можно расчленять, дифференцировать и оценивать по бесконечному множеству критериев, которые полностью зависят от исследователя, от целевой установки, которой он руководствуется (поэтому нельзя разработать какую-либо всеобъемлющую, «универсальную» классификацию). Сама по себе Природа не знает ни кристаллических сланцев, ни рудных полей, ни формаций, ни антиклинорий — она едина, она такая, какая есть. Это мы членим ее на удобные нам составляющие в зависимости от характера и масштаба решаемых задач, и в общем случае не существует «важных» и «не важных», «существенных» и «не существенных» свойств объектов множества и есть лишь свойства, без учета которых нельзя достичь данной цели, и существуют такие свойства, которыми можно пренебречь, имея в виду конкретную цель [5]. Природа — это бесконечное количество разнообразных естественных тел и явлений, но понятия о них всегда искусственны, условны. Это продукт нашего сознания, и руководствоваться при систематизации следует в первую очередь законами мышления, а не критериями «естественности» выделяемых объектов. Следовательно, разработка единого общепринятого понятийного аппарата геологической науки — это вопрос договоренности, вопрос консенсуса, но никак не вопрос его «естественности» [7]*. Именно так решили эту проблему физики, согласовав и приняв в 1960 г. на 11-й Генеральной конференции по мерам и весам «Международную систему единиц (СИ)».

В геологии же в плане наличия научно обоснованной системы знания ситуацию иначе как удручающей не назовешь. В.В.Груза еще в 1977 г. писал, что существуют 39 определений понятия *минерал*, 63 —

*Основатель семиотики Фердинанд де Соссюр писал: «Почему слово *корова* означает корову? Потому, что все договорились считать, что оно означает корову».

формация, 112 — *фа́ция*, и многие проблемы следует отнести к категории «мнимых», так как их появление обусловлено неопределенностью используемых языковых конструкций и, как следствие, подменой понятий [4]. Положение с тех пор принципиально не изменилось, даже при определении некоторых фундаментальных понятий геологической науки, таких, например, как *геотектоника*, среди геологов нет единого мнения, и анализ геологической литературы показывает удивительное разномыслие по целому ряду вопросов. В.Ю.Забродин [6] считает язык многих разделов геологии не просто «мягким», но и чрезмерно «мягким», в котором синонимия, полисемия и омонимия очень распространены. Поэтому крайне важной представляется задача разработки логически непротиворечивого понятийно-терминологического аппарата геологии, причем с обязательным учетом требований именно *логической* организации знания, поскольку «ошибки в словах и в логике исследования неизбежно приводят к ошибкам в содержании геологического знания. Путая слова, геолог путает и то, что эти слова означают» [14, с.97].

Работа по упорядочению, унификации и формализации понятийно-терминологического аппарата геологической науки особенно актуальна сейчас — в эпоху широкого внедрения в практику геологоразведочных работ компьютерных технологий, поскольку компьютеры «понимают» только формализованный язык. Такая работа ведется — изданы Стратиграфический, Петрографический и Металлогенический кодексы, вышел в свет 3-х томный Геологический словарь [2]. Ожидалось, что в этих документах будут учтены рекомендации, разработанные в 1960—1970-е годы в эпоху всеобщего увлечения «математизацией» естественных наук и критического осмысления познавательной ситуации в геологии. Приходится, однако, признать, что если эти ожидания и оправдались, то не в полной мере. Как Кодексы, так и Словарь не свободны от ошибок методологического, гносеологического характера. Более того, трактовка некоторых понятий, включенных в Геологический словарь, в ряде случаев воспринимается даже как регресс, то есть шаг назад по сравнению с тем, что было выработано геологической наукой в предшествующие годы. Например, «дневная поверхность», которую Словарь определяет как «поверхность современного рельефа суши». Так как критерием расчленения (основанием деления) поверхностей в данном случае служит время суток — «дневная», то логично ожидать существование «вечерней», «ночной» и др. поверхностей. На деле же речь идет о земной поверхности, которую так и следует называть. Об этом С.А.Музылев писал еще в 1982 г. и особенно акцентировал внимание на то, что «в научных работах нужна особая строгость в выборе слов для точной передачи сущности описываемых явлений» [12, с.51]. Термин «дневная поверхность» употребляется

в горнопромышленной практике как жаргонизм, профессиональное арго, но в издании, претендующем на академичность, ему не место (если же приводить его в Словаре, то с обязательным указанием на то, что это вульгаризм, которым не следует засорять язык науки).

Не отвечает требованиям научной организации знания и выделение во внутренней структуре Земли ее оболочек:

«Земная кора — верхняя оболочка твердой Земли. Нижняя ее граница совпадает с сейсмической границей Мохоровичича, на которой скорости продольных волн скачкообразно увеличиваются» [2, т.1, с.378]. Критерий выделения — градиент скорости сейсмических волн (Р.И.Голоудин).

«Литосфера — оболочка твердой Земли, выделяемая по повышенным значениям вязкости и жесткости и по другим реологическим свойствам, отличающим ее от подстилающей астеносферы ... мощность литосферы колеблется в широких пределах, в океанах она иногда превышает 100 км» [2, т.2, с.145]. Критерий выделения — реологические свойства слагающих литосферу пород. Каким образом измерялись эти свойства на глубинах в 100 км? (Р.И.Голоудин).

«Астеносфера — слой верхней мантии Земли, подстилающий литосферу ... одним из наиболее эффективных способов оценки положения кровли астеносферы является метод МТЗ (магнитотеллурическое зондирование) по резкому понижению удельного сопротивления» [2, т.1, с.74]. Критерий выделения — градиент удельного сопротивления (Р.И.Голоудин).

«Мантия — оболочка «твердой» Земли, расположенная между земной корой и ядром Земли ... предполагают, что мантия в основном сложена богатыми оливином породами ... вещество ее, по-видимому, находится в твердом кристаллическом состоянии ... силикаты мантии отличаются от силикатов земной коры в первую очередь перестройкой Si-тетраэдров» [2, т.2, с.178]. Критерий выделения — структурно-вещественные характеристики минерального субстрата (Р.И.Голоудин).

«Ядро Земли ... устанавливается по сейсмическим данным» [2, т.3, с.423]. Критерий выделения — особенности распространения сейсмических волн (Р.И.Голоудин).

Получается, что оболочки Земли выделяются по разным, не поддающимся сравнению признакам, из-за чего границы оболочек могут перекрываться, и такое структурирование никак нельзя считать логически корректным, научно обоснованным.

В Металлогеническом кодексе читаем: «Металлогеническая формация — устойчивая постоянно наблюдаемая пространственно-временная ассоциация геологических, метасоматических и рудных формаций...» [9, с.13]. Здесь имеет место нарушение соподчиненности таксонов: формация не может состоять из формаций, точно так же как лес не может состоять

из лесов — он состоит из деревьев и кустарников. Другое дело, что само понятие «формация» крайне неопределенно. Оно имеет много смыслов, и это в очередной раз подчеркивает несовершенство понятийно-терминологического аппарата геологии. В Приложении № 6 Кодекса приводится «Классификация месторождений твердых полезных ископаемых по генетическому типу», в которой *магматический* и *карбонатитовый* типы месторождений отнесены к разным генетическим типам и рассматриваются на одном таксономическом уровне, а в Приложении № 9 — «Классификация рудообразующих систем и процессов (по типам порообразующих процессов)» — *карбонатитовая* рудообразующая система выделена как подкласс в классе *магматической внутриинтрузивной* системы. Как видим, даже в пределах одного издания наблюдается несогласованность в систематизации понятий.

Основной метод изучения геологического строения территории и поисков полезных ископаемых — геологическое картирование, и значительный объем информации о строении верхней части земной коры свертывается в карты геологического содержания. Очень важным (если не важнейшим) элементом этих карт является легенда, система условных обозначений. Разрабатывая легенду карты, геолог структурирует геологическое пространство, мысленно расчленяет его на составляющие, создает идеальную, ментальную модель объекта исследования. По мнению Н.С.Шатского, вся теоретическая работа в тектонической картографии заключается в построении легенды карты. Легенда — это своего рода классификация той совокупности объектов, с которой имеет дело геолог; классификации же являются неотъемлемой частью теоретического геологического знания, в котором они играют примерно ту же роль, что и уравнения в физических теориях [6].

Вопросами систематизации и классификации любых объектов и явлений занимается раздел логики «деление объема понятий». Правильно построенная классификация должна удовлетворять следующим требованиям: деление должно быть соразмерным; в пределах одного таксона деление должно производиться по одному признаку (основанию деления); любой объект из делимой совокупности должен попасть в один, и только в один класс; классы не должны пересекаться.

Попытаемся с этих позиций проанализировать легенду Металлогенической карты России масштаба 1:5 000 000 (под ред. А.Д.Щеглова, 2000 г.), в которой выделены следующие структурно-металлогенические комплексы:

1) *складчато-надвиговых областей*;

2) *областей тектономагматической активизации* (тектономагматическая активизация может проявляться в различных структурно-тектонических условиях, в т.ч. в складчато-надвиговых областях, на

платформах и др. Поставить эти области в один ряд с платформами и складчатыми зонами — это как если бы в сообществе горных пород выделять, например, изверженные, осадочные и трещиноватые);

3) *рифтогенные* (могут проявляться в различных структурно-тектонических обстановках. Это так же типичный случай пересечения классов: один и тот же структурно-металлогенический комплекс может быть отнесен и к платформам, и к рифтам);

4) *платформ*;

5) *островных дуг* (островодужные комплексы могут входить в качестве составной части в складчато-надвиговые области);

6) *ложба океанов и окраинных морей* (неправильно объединять в одну группу океаническое ложе и окраинные моря, которые чаще всего являются продолжением под водой материковых структур. В частности, моря Западно-Сибирское, Лаптевых, Охотское и ряд других в структурно-тектоническом отношении представляют собой обычные платформы);

7) *археократонов* (в Геологическом словаре *кратон* — древняя платформа, и в данном случае это можно квалифицировать как дублирование понятий. Структурно-металлогенические комплексы платформ рассматриваются в п.4);

8) *коптогенные* (падение небесных тел, в результате чего формируются специфические структурно-металлогенические комплексы, никак не связано с геологическим строением территории, и коптогенные образования могут встречаться в каждой из перечисленных структурно-тектонических обстановок. Правильнее было бы рассматривать коптогенные комплексы как несистемные).

Анализ показывает, что данная легенда — это целый набор нарушений правил классифицирования. Не соблюдены правила и в легендах карт четвертичных образований [3], ряда других карт геологического содержания.

Складывается впечатление, что геологи откровенно пренебрегают требованиями логической организации знания, из-за чего это знание не может быть достоверным, а, следовательно, и практически значимым, так как всякое положение, выведенное в нарушение законов логики, ошибочно, и нарушив одно из требований логики, очень легко нарушить остальные требования, так как все они взаимосвязаны [1]. Логика — это своего рода матрица правильных рассуждений. Пренебрежение требованиями логической организации знания недопустимо, такое знание нельзя считать научным, истинным. В.Ю.Забродин еще в 1985 г. обращал внимание на то, что геологи в своей науке не уделяют должного внимания гносеологической, познавательной ситуации и предпочитают заниматься главным образом онтологической проблематикой [6]. Это подтверждает такой факт. В 2008 г. вышла в свет монография «История и методология геологических наук» [13], в которой часто упомина-

ются работы, выполненные в отделе математических методов ВСЕГЕИ в 1960—1970-е годы (в частности, коллективная монография «Методы теоретической геологии», книга В.В.Грузы [4] и др.). С одной стороны, это свидетельство того, что цитируемые работы выполнены на высоком научном уровне и не потеряли своего значения по настоящее время. С другой, это говорит о том, что за прошедшие десятилетия в геологической науке не появилось значимых работ теоретической, методологической направленности, и можно с уверенностью утверждать, что такое положение пагубно отражается на состоянии отрасли в целом.

Напомним читателю, что на эмблеме Всемирного геологического конгресса помещен девиз «*mente et malleo*» (умом и молотком). Если под молотком понимать аппаратно-техническое обеспечение геологоразведочных работ, то здесь налицо существенный прогресс. В распоряжении современного геолога имеется мощная аналитическая база, ему доступны материалы дистанционных съемок, данные разнообразных геофизических методов, бурения (в т.ч. океанического) и многое другое. Что же касается осмысления получаемых материалов, то о прогрессе говорить не приходится. Более того, в последние десятилетия положение если и изменилось, то только в худшую сторону: теоретические, методологические работы в геологии стали редкостью, и основное внимание специалистов переключилось на прагматическую, коммерческую составляющие изучения и освоения недр. Л.В.Оганесян не без основания считает, что геологическая наука выродилась в «кладоискательство» [11]. В то же время «Новая философская энциклопедия» [10] квалифицирует методологию как своего рода технологию мыслительной деятельности и считает ее одной из наиболее актуальных областей современной технологии. Еще Ф.Бэкон считал, что даже малоодаренный человек, овладевший правильным методом исследований, может сделать больше, чем человек, не знакомый с этим методом, и Л.Д.Ландау ставил метод выше открытия, поскольку правильный метод позволяет получать многие открытия.

Следует отчетливо понимать, что «вся сложная аппаратура только изоощряет наблюдения, но без длительных и упорных размышлений в теории явления нельзя достигнуть прогресса» [8, с.21]. Что же касается практической стороны дела, то геологам полезно напомнить афоризм *нет ничего практичнее хорошей теории*.

Автор выражает признательность ведущему научно-му сотруднику ВСЕГЕИ В.Н.Зелепугину за консультации при работе над статьей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Арманд Д.Л. Наука о ландшафте. —М.: Мысль, 1975.
2. Геологический словарь. В 3-х томах. —С-Пб: Изд-во ВСЕГЕИ, 2010. Т. 1. 2011. Т. 2. 2012. Т. 3.
3. Голоудин Р.И. Опыт логического анализа генетических классификаций четвертичных отложений // Советская геология. 1990. № 1. С. 39—46.
4. Груза В.В. Методологические проблемы геологии. —М.: Недра, 1977.
5. Жуков Р.А., Груза В.В., Ткачев Ю.Р. Проблема выделения объектов исследования в геологии // Тр. ВСЕГЕИ. Нов. Серия. 1975. Т. 223. Вып. 3. С. 14—26.
6. Забродин В.Ю. Познавательная ситуация в современной геологии // Вопросы философии. 1985. № 1. С. 64—72.
7. Лебедев А.С. Уровни научного знания // Вопросы философии. 2010. № 1. С. 62—75.
8. Любищев А.А. Значение и будущее систематики // Природа. 1971. № 2. С. 15—23.
9. Металлогенический кодекс России. —М.: Геокарт-ГЕОС, 2012.
10. Новая философская энциклопедия. —М.: Мысль, 2010.
11. Оганесян Л.В. О проблемах, стоящих перед российскими геологами в преддверии всероссийского съезда геологов // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 2007. № 6. С. 70—73.
12. Требования по составлению и подготовке к изданию материалов Государственной геологической карты СССР масштаба 1:1 000 000 (новая серия). —Л.: ВСЕГЕИ, 1982.
13. Хаин В.Е., Рябухин А.Г., Наймарк А.А. История и методология геологических наук: учебное пособие для студентов вузов. —М.: Издательский центр «Академия», 2008.
14. Шарапов И.П. Логический анализ некоторых проблем геологии. —М.: Недра, 1977.

Вышли из печати

Новоселов К.А., Белозуб Е.В., Аюпова Н.Р. Бабарыкинское рудное поле (Александровский колчеданосный район, Южный Урал). — Миасс: ИМин УрО РАН, 2009. 175 с. Илл. 53. Табл. 36. Библ. 141.

Приведены данные о геологическом строении и вещественном составе Бабарыкинского рудного поля и одноименного рудопоявления. В составе гидротермальной системы выделены гидротермально-метасоматические продукты проработки подрудных толщ; сплошные руды и песчаники смешанного состава с рудокластами, представляющие собой результат придонного разрушения первичного сульфидного тела; гематит-кварцевые породы, возникающие из-за подводного окисления смеси гиалокластогенного материала, карбонатов и вещества гидротермального происхождения. Кварц-баритовые жилы с сульфидной минерализацией связаны с тектоногенной ремобилизацией вещества.

Зайков В.В. Путь к просторам древних океанов. — Екатеринбург: РИО УрО РАН, 2013.

Показан жизненный путь геолога, посвятившего более полувека изучению вулканизма и рудоносности палеоокеанических структур. Автору удалось определить древние «черные курильщики» Уральского палеоокеана и выявить месторождения керамического и огнеупорного сырья. Увлечение историей материальной культуры привело к обоснованию новой отрасли знаний — геоархеологии.

Попова В.И., Попов В.А., Коростелёв П.Г., Орловский В.В. Минералогия руд W-Sn-месторождения Тигринное на Сихотэ-Алине и перспективы его освоения. — Екатеринбург: РИО УрО РАН, 2013. 132 с. Ил. 218. Табл. 17. Библ. 57 назв.

Описаны история открытия и исследования месторождения, геологическое строение и локализация рудных тел. Представлены последовательные типы минерализации в рудах, характеристика 123 минералов и количественное распределение главных промышленно ценных минералов в объеме месторождения, а также глубина и форма зоны окисления и гипергенные минералы. Проанализирован химический состав руд и рассмотрены вопросы технологии их обогащения. Приведены данные о запасах главных минералов, полученные методом минералогического картирования. Обсуждаются перспективы освоения месторождения.

Сафина Н.П., Новоселов К.А. Микроскопические методы исследования руд: учебное пособие. — Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2013. 168 с.

Содержатся сведения, необходимые для самостоятельного изучения руд при помощи методов рудной микроскопии. Приводятся рекомендации по изготовлению полированных образцов и препаратов для микроскопического изучения, основы кристаллооптики в контексте отражательной микроскопии, устройство микроскопа и способы определения важнейших свойств минералов, необходимые для их диагностики. Важная часть учебного пособия посвящена основам текстурно-структурного анализа руд и его применению для решения прикладных задач. В приложении приводятся характеристики основных рудных минералов.

Геолог В.В.Зайков. Биобиблиография ученого / И.Ю.Мелекесцева, Е.В.Зайкова, О.Л.Бусловская. — Екатеринбург: РИО УрО РАН, 2014. 216 с.

Посвящена видному ученому и педагогу профессору, заслуженному деятелю науки РФ Виктору Владимировичу Зайкову. Среди его достижений — открытие месторождений каменной соли и золота, керамического и огнеупорного сырья. Он впервые в России сопоставил колчеданные месторождения с «черными курильщиками» современных океанов. Список публикаций В.В.Зайкова включает 580 научно-исследовательских работ, в т.ч. 29 монографий и 59 статей в рецензируемых журналах. Его перу принадлежит 7 научно-популярных книг. Издание рассчитано на ученых, специалистов и студентов, интересующихся историей геологических исследований.

Металлогения древних и современных океанов-2014. Двадцать лет на передовых рубежах геологии месторождений полезных ископаемых // Отв. ред. Масленников В.В., Мелекесцева И.Ю. — Миасс: Институт минералогии УрО РАН, 2014. 254 с. Илл. 64. Табл. 26.

В сборник вошли материалы XX юбилейной научной молодежной школы «Металлогения древних и современных океанов-2014. Двадцать лет на передовых рубежах геологии месторождений полезных ископаемых» (21—25 апреля 2014 г.). В первой главе рассмотрены общие вопросы геологии, геохронологии, металлогении и геодинамики. Отдельные разделы посвящены колчеданным месторождениям континентов и гидротермам на дне Атлантического океана, месторождениям черных и благородных металлов в палеоокеанических структурах Урала, Сибири, Кавказа и Алтая, а также минералого-геохимическим критериям поисков и глубокой переработки руд. В разделе актуальных геолого-минералогических исследований даны результаты изучения рудовмещающих комплексов, минералов и месторождений нерудного сырья.

Порядок оформления статей, представляемых в журнал «Отечественная геология»

Настоящий порядок вводится в соответствии с рекомендациями ВАК Министерства образования и науки Российской Федерации и унификацией для Научной Электронной Библиотеки (НЭБ)

Образец оформления статьи:

УДК.....	К.П.Комаров, П.С.Егоров, 2013
Геологическое строение Кольского полуострова	
К.П.КОМАРОВ, П.С.ЕГОРОВ (Кольский научный центр РАН)	
<i>Аннотация</i> (на русском языке, не более 5-7 строк).....	
<i>Ключевые слова</i> (на русском языке, не более 5-7 слов).....	
<i>Перевод названия статьи на английский язык (полужирным шрифтом)</i>	
K.P.KOMAROV, P.S.EGOROV	
<i>Аннотация</i> (на английском языке, не более 5-7 строк).....	
<i>Key words</i> (не более 5-7).....	
<i>Адрес для переписки - почтовый, телефон, e-mail:</i>	
Далее	
ТЕКСТ СТАТЬИ (см. требования к авторам статей).....	
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	

Требования к авторам статей

1. Рукопись статьи подготавливается в соответствии с образцом оформления и представляется с установленными сопровождающими документами: письмом (разрешением на опубликование) руководителя учреждения и экспертным заключением о возможности публикации в открытой печати. В конце статьи ставятся подписи всех авторов. В том случае, если автор не один, то указать фамилию автора, с которым будет вестись переписка.

2. К материалам, направляемым в редакцию, должна быть приложена справка об авторе (авторах) с указанием: фамилии, имя, отчества, ученой степени, звания, должности, места работы, адреса для переписки (почтового), телефона, e-mail каждого автора.

3. В журнале не публикуются статьи, излагающие обобщения и предположения, не вытекающие из публикуемого оригинального фактического материала; серийные и излагающие отдельные этапы исследований, не представляющих общего интереса.

4. Статьи, отклоненные редколлегией, повторно не рассматриваются.

5. Объем статьи не должен превышать 15 страниц, включая таблицы и список литературы. Следует оставить поля: сверху (2 см), снизу (2 см), справа (1 см) и слева (3 см). Все страницы рукописи нумеруются. В редакцию представляются два экземпляра статьи — распечатка с принтера, а также текст на дискете в (*.doc, *.docx) с использованием шрифта Times New Roman (размер 12, полуторный межстрочный интервал). В отдельные файлы помещаются статья, таблицы. Возможна передача статей по электронной почте: ogeo@yandex.ru, tsnigri@tsnigri.ru.

6. Для набора математических формул и химических символов рекомендуется использовать Microsoft Equation 2.0.

7. Список литературы дается сквозной нумерацией в алфавитном порядке. Иностранная литература помещается после отечественной. Ссылки в тексте на источник из списка литературы приводятся соответствующим порядковым номером в квадратных скобках. В список не включаются неопубликованные работы.

8. Рисунки и другие графические материалы (не более 4) в черно-белом варианте. На обратной стороне каждого рисунка (на распечатке) карандашом указываются его порядковый номер, фамилия автора и название статьи. Размер оригиналов рисунков не должен превышать формата страницы журнала. Рисунки (фото) принимаются в виде фотокопии (на глянцевого бумажке) или отсканированные с расширением не менее 300dpi; на дискетах с распечаткой на бумажке. Цифры и буквы в условных обозначениях, вынесенных за пределы рисунка, даются курсивным шрифтом. Текстовые и цифровые надписи на рисунках набираются на компьютере. Размер букв и цифр должен быть не менее 2 мм, толщина линий рисунка — не менее 0,2 мм. Каждый рисунок помещается в отдельный файл в одном из следующих форматов: графический редактор Corel Draw (*.cdr); Encapsulated Post Script (*.eps); TIFF — только для фото (*.tif); Диаграмма Microsoft Excel (*.xls). Графика должна быть прямо связана с текстом и способствовать его сокращению. Оформление и содержание иллюстративного материала должны обеспечивать его читаемость после возможного уменьшения. Ксерокопии и сканированные ксерокопии не принимаются.

9. Подрисуточные подписи печатаются отдельно (текстовый файл). Рисунки, не удовлетворяющие требованиям редакции, возвращаются автору.

10. Редакция оставляет за собой право сокращать и редактировать название статьи, текст, рисунки.

11. С целью облегчения редактирования статей следует использовать термины и понятия в значениях, отраженных в следующих изданиях:

Толковый словарь английских геологических терминов. Перевод с английского / Под ред. Н.В.Межеловского. —М.: Геокарт, 2002.

Российский металлогенический словарь / Под ред. А.И.Кривцова.

—С-Пб: Изд-во ВСЕГЕИ, 2003.

Термины и понятия, используемые при прогнозно-металлогенических исследованиях. —С-Пб, 1991.

12. Статьи, превышающие установленный объем или не отвечающие данным требованиям, возвращаются автору.