

# Отражение истории формирования консолидированной земной коры Приамурской золотоносной провинции в ее петрохимическом составе (по материалам отрезков сейсмических профилей Тында—Амурзет и Абакан—Тында—Татарский пролив)

© Р. П. Готтих<sup>1</sup>, Б. И. Писоцкий<sup>2</sup>, А. И. Черненко<sup>1</sup>, С. С. Малинина<sup>1</sup>,  
И. А. Бисеркин<sup>1</sup>, 2017

<sup>1</sup>Федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский геологический нефтяной институт», Москва, Россия

<sup>2</sup>Институт проблем нефти и газа РАН, Москва, Россия

На основе данных про швидкості поширення сейсмічних хвиль у консолидованій корі, розподіл основних петрохімічних типів порід по глибинах, співвідношення між розрахованими змістами в виділених доменах оксидів кремнію, кальцію і заліза і загальні уявлення про закономірності формування земної кори були побудовані петрохімічні розрізи уздовж відрізків геофізичних профілів. Комплексний аналіз матеріалів дав змогу виділити в розрізі консолидованої кори чотири метаморфічних комплекси порід, три плутонічних кислих, три плутонічних гіпабіссальних середнього складу, два вулканоплутонічних основного складу і один складний вулканоплутонічний ультраосновного складу різного ступеня лужності. Виділені петрохімічних блоки відображають різновікові асоціації порід, зближені за хімічним складом. Особливою петрохімічною строкатістю відрізняються складні гібридні породні асоціації на рівні середньої кори. Зіставлення складу і часу утворення тих чи інших порід, що виходять на поверхню, з аналізом історії розвитку регіону показало їх достатню відповідність і прийнятне відображення в петрохімічних розрізах. Відповідно до визначених уявлень про освіту золоторудної мінералізації були виділені зони, що відображають процеси формування рудоносності в приповерхневих утвореннях і ймовірні зони розташування корінних джерел металів.

**Ключові слова:** геотраверс, петрохімія, сейсмічні швидкості, террейни.

**Введение.** Приамурская золотоносная провинция занимает второе место в РФ по добыче золота за счет резкого увеличения добычи металла из коренных источников при снижении поступления руды из россыпей [Степанов и др., 2016].

В этой связи в ближайшие годы требуется расширение базы золоторудных месторождений, прогноз которых на частично закрытых территориях может осуществляться с использованием комплекса геофизических методов.

В пределах региона проложены глубинные сейсмические профили: Тында—Амурзет, Абакан—Тында—Татарский пролив, Свободный—Комсомольск-на-Амуре, Рубцовск—м. Невельского.

Профили Абакан—Тында—Татарский пролив и Тында—Амурзет были отработаны Центром ГЕОН в 1990 г. с целью создания комплексной геолого-геофизической модели земной коры региона и основы для тектонического и минерагенического районирования [Булин, Егоркин, 1993]. Была начата систематизация данных об особенностях строения консолидированной коры в зонах расположения месторождений полезных ископаемых [Булин, Егоркин, 1993; Булин, Солодилов, 1994; Егоркин, 1996]. Определены некоторые косвенные сейсмические критерии металлоносности геологических разрезов, в частности:

– наличие в средней части консолидированной коры блоков, отличающихся

аномально повышенными (от 1,82 до 1,93) или пониженными (от 1,58 до 1,69) отношениями  $V_p/V_s$ , при скачке этого параметра на кровле и подошве толщи пород порядка 0,05—0,12;

– приуроченность около 90 % месторождений к контактам зон разных типов зависимости  $V_p/V_s(h)$ , где  $h$  — мощность консолидированной коры.

Проведенные исследования по отрезкам профилей Рубцовск—м. Невельского и Тында—Амурзет также показали достаточно устойчивую связь золоторудных площадей с доменами в средних и верхних зонах коры, которые характеризуются аномальными отношениями  $V_p/V_s$ . Пониженные значения  $V_p/V_s$  фиксируют крупные блоки с относительно повышенной трещиноватостью, слабоводофлюидонасыщенные. То же самое, но с несколько большей флюидонасыщенностью, получается при дополнительном наложении на пониженные значения отношения понижений  $V_s$  [Носырев, 2005].

Вместе с тем авторы подчеркивают, что полного совпадения контуров скоростных неоднородностей и золоторудных площадей не может быть по ряду причин (ограниченность наблюдений, осреднение скоростных параметров и т.п.). Полученный вывод сводится к тому, что основную роль в размещении золоторудной минерализации играют участки коры с аномально высокой объемной тектонической нарушенностью. Эти области служили каналами тепломассопереноса на этапе формирования месторождений.

Результаты многоволнового ГСЗ и МОВЗ вдоль 880-километрового профиля Тында—Амурзет позволили выделить до пяти-семи осей синфазности отраженных  $P$ - и  $S$ -волн, относящихся к внутрикоровым границам раздела, поверхности Мохоровичича и границам в верхней части мантии [Золотов и др., 2000]. Полученные результаты исследований сводились к тому, что консолидированная кора вдоль профиля имеет сложное блоково-слоистое строение с латеральной протяженностью блоков в среднем 30—60 км и мозаичным характе-

ром распределения скоростей при их закономерном возрастании вниз по разрезу от 5,8 до 7,1 км/с.

Цель настоящей статьи — построение петрохимической модели консолидированной земной коры на базе материалов сейсмических профилей и выяснение ее соответствия процессам геодинамического развития региона и процессам, ответственным за формирование золоторудных месторождений.

**Результаты исследований.** В основу построения петрохимической модели земной коры положены сведения, полученные вдоль отрезков региональных глубинных сейсмических профилей Абакан—Тында—Татарский пролив и Тында—Амурзет.

Территория по которой проходят сейсмические профили, охватывает западную часть раннедокембрийской Становой складчато-блоковой граничной системы Сибирской платформы, фрагмент восточного фланга Центрально-Азиатского складчатого пояса, включающего Селенго-Становой блок Малхано-Яблонового террейна (южный фрагмент Байкало-Витимского супертеррейна) и Аргуно-Мамынский композитный террейн, разделенные мощными шовными зонами — Джелтулакской и Монголо-Охотской (рис. 1).

**Сейсмическая характеристика консолидированной земной коры вдоль отрезков геотраверсов.** Геометрические каркасы разрезов, следующие из сейсмических данных ГСЗ в обработке А. В. Егоркина, как и геологическая карта территории работ, заимствованы из официального сайта ВСЕГЕИ (информационные ресурсы).

При анализе сейсмического материала основное внимание уделялось рассмотрению латеральной вариации скорости распространения продольных волн базального слоя консолидированной коры, который многими специалистами рассматривается в качестве одного из наиболее информативных слоев, и детально изменению скоростных характеристик в вертикальном разрезе.

Профиль Абакан—Тында—Татарский залив пересекает Селенго-Становой,

Джугджуро-Становой и Аргуно-Мамынский террейны. Данные о морфологии границы М и вариации скоростной характеристики нижней коры ( $V_p$ ) позволяют выделить в пределах изучаемого участка профиля три крупных блока. Первый охватывает территорию, входящую в состав Селенго-Становой гранит зеленокаменной области (ПК 490—523); второй — южную часть Джугджуро-Становой гранит-зеленокаменной области, включая зону Желтулакского разлома, до сочленения области с Монголо-Охотской шовной зоной (ПК 534—578) и третий — собственно Монголо-Охотскую зону (рис. 2, а). При близкой скорости продольных волн в верхней мантии скорости в нижней коре значительно дифференцированы (от 6,80 до 7,60 км/с). В целом, нижняя кора региона характеризуется высокими значениями скорости продольных волн, особенно в пределах Джугджуро-Станового блока с

максимумом в интервале ПК 546—578.

Земная кора значительно дифференцирована и в пределах выделенных блоков. В каждом из них наблюдаются породы с аномально высокими значениями  $V_p$  на глубинах 25—35 км и выше, нарушающие общую закономерность снижения скорости продольных волн с уменьшением глубины залегания породных комплексов. Границы распространения пород с аномальными скоростями, как правило, ограничены зонами корово-мантийных разломов Желтулакского на западе и Северо-Тукурингского на востоке. Скачок скорости  $V_p$  на границах блоков составляет 0,1—0,3 км/с.

Диагональный отрезок профиля Тын-да—Амурзет с северо-запада на юго-восток пересекает южную часть Джугджуро-Станового террейна (ПК 1—9), фрагмент Селенго-Станового террейна (ПК 12,5—20) и Аргуно-Мамынский ком-

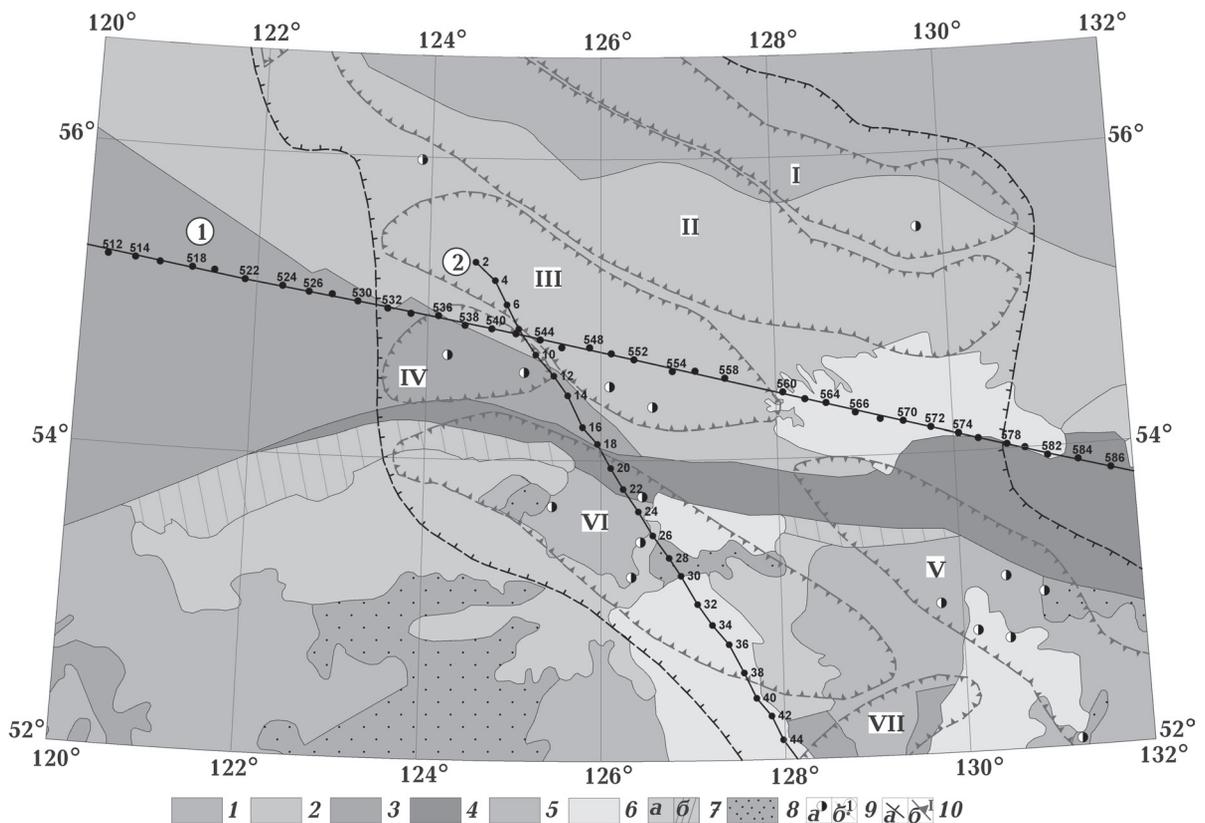


Рис. 1. Структурно-тектоническая карта района работ (по [Корсаков и др., 2005] с исправлениями и дополнениями авторов) и положение геофизических профилей.

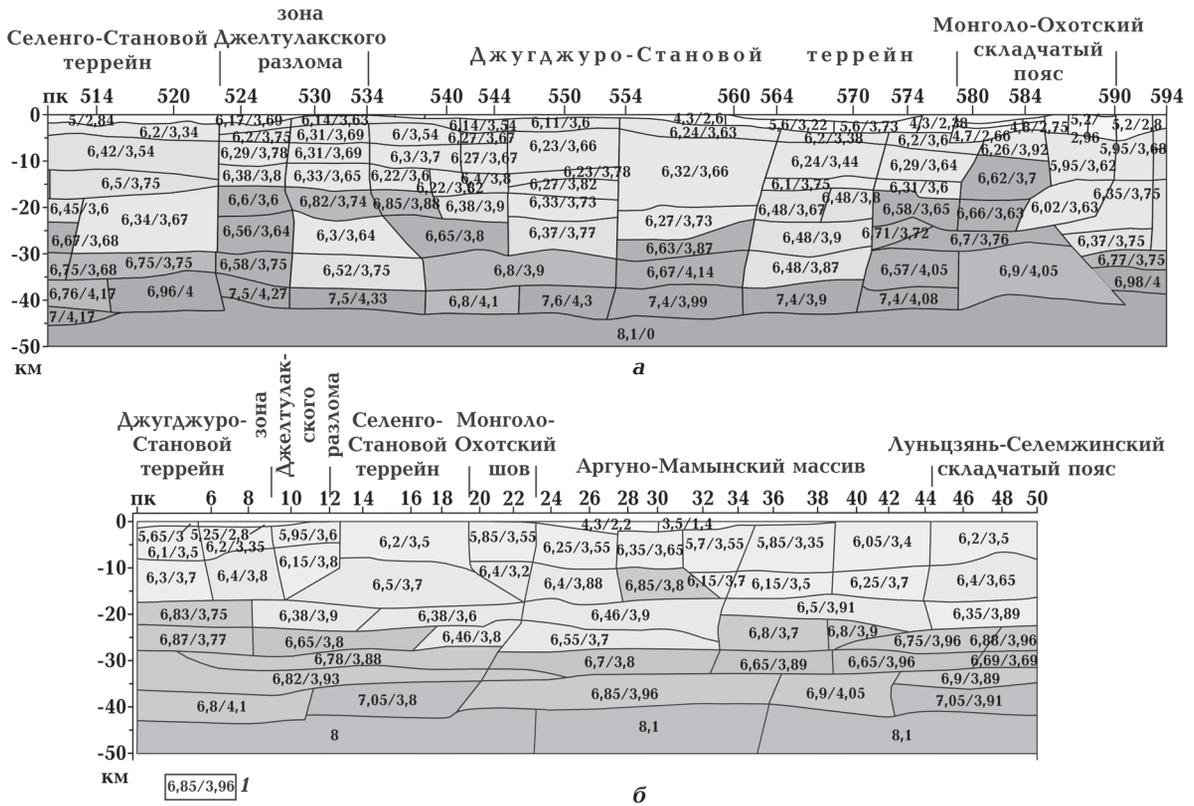


Рис. 2. Сейсмические разрезы земной коры по отрезкам профилей Абакан—Тында—Татарский пролив (а) и Тында—Амурзет (б).

позитный терреин до его сочленения с Луныцзян-Селемжинским орогеном. Террейны разделены крупными Джелтулакской и Монголо-Охотской шовными зонами, хорошо выраженными в рельефе поверхности М и латеральных скачках скорости продольных волн. Для пород нижней коры рассматриваемого участка профиля характерны значительно более низкие значения скорости продольных волн ( $V_p=6,80\div 7,05$  км/с) по сравнению с предыдущим профилем и более широкое развитие высокоскоростных пород ( $V_p=6,80\div 6,82$  км/с) на глубинах до 25—20 км (рис. 2, б).

В створе Джугджуро-Становой области, в интервале глубин 35—18 км наблюдается зона значительной перемежаемости высокоскоростных пород ( $V_p=6,87\div 6,82$  км/с). Причем в интервале глубин 35—38 км она выражена в виде линзы ( $V_p=6,82$  км/с), протяженностью более 200 км, секущей на этих глубинах Джелтулакскую зону раз-

ломов и подошву Селенго-Станового террейна. Выше, на глубинах 17—27 км (ПК 2—8), развиты породы с еще более высокой скоростью ( $V_p=6,83\div 6,87$  км/с).

Аргуно-Мамынский терреин в целом характеризуется средними скоростями распространения продольных сейсмических волн. В сейсмическом разрезе на уровне средней консолидированной коры выделяются два домена высокоскоростных пород в створе ПК 27—31 и ПК 34—38.

Таким образом, в пределах фрагментов профилей Абакан—Тында—Татарский пролив и Тында—Амурзет в разрезе консолидированной земной коры широко распространены на различных глубинах породы с аномально высокими значениями  $V_p$ , нарушающими общую закономерность снижения скоростных характеристик продольных волн с уменьшением глубины залегания геологических образований. Последнее, по-видимому, может отражать воздействие на архейско-палеопротеро-

зойские породные комплексы вторичных, наложенных тектономагматических процессов, проявляющихся в виде интрузий.

**Вариации содержания оксидов кремния, кальция и железа в породных комплексах консолидированной земной коры.**

На основе данных о скорости продольных и поперечных волн, согласно корреляционным уравнениям, представленным в работах А. Л. Алейникова [Алейников и др., 1986] и С. Н. Кашубина (1984), были рассчитаны содержания оксидов Si, Ca, и Fe в породных комплексах. Соотношения между оксидами в определенной степени определяют химический состав основных типов образований консолидированной земной коры:  $\Sigma SiO_2 = 152,4 - 20,82(V_p/V_s) - 2,58(K/\sigma)$ ;  $\Sigma CaO = 1,122(K/\sigma) - 0,89(V_p/V_s) - 17,98$ ;  $\Sigma FeO = 33,225(V_p/V_s)^2 - 106,8(V_p/V_s) - 0,0759(K/\sigma)^2 + 4,343(K/\sigma) + 33,59$ , где  $K/\sigma = (V_p)^2 - 4/3(V_s)^2$ .

Сведения о содержании оксидов в породах земной коры вдоль профиля Абакан—Тында—Татарский залив (рис. 3, а) позволяют отметить, что породы Селенго-Станового террейна на глубинах 5—30 км представлены наиболее низкокремнистыми разностями при сравнительно повышенном содержании оксидов кальция и железа. Ниже 30 км эти особенности выражены еще более отчетливо. В верхней и эпизодически в средней частях коры развиты породы с повышенным содержанием кремнезема и пониженным CaO.

Земная кора в пределах Джугджуро-Станового террейна по химизму слагающих домены пород более дифференцирована. В створе центральной части отрезка профиля высококремнистые (более 60 %) и относительно низкокальциевые (2,7—4,8 %) породы развиты в широком

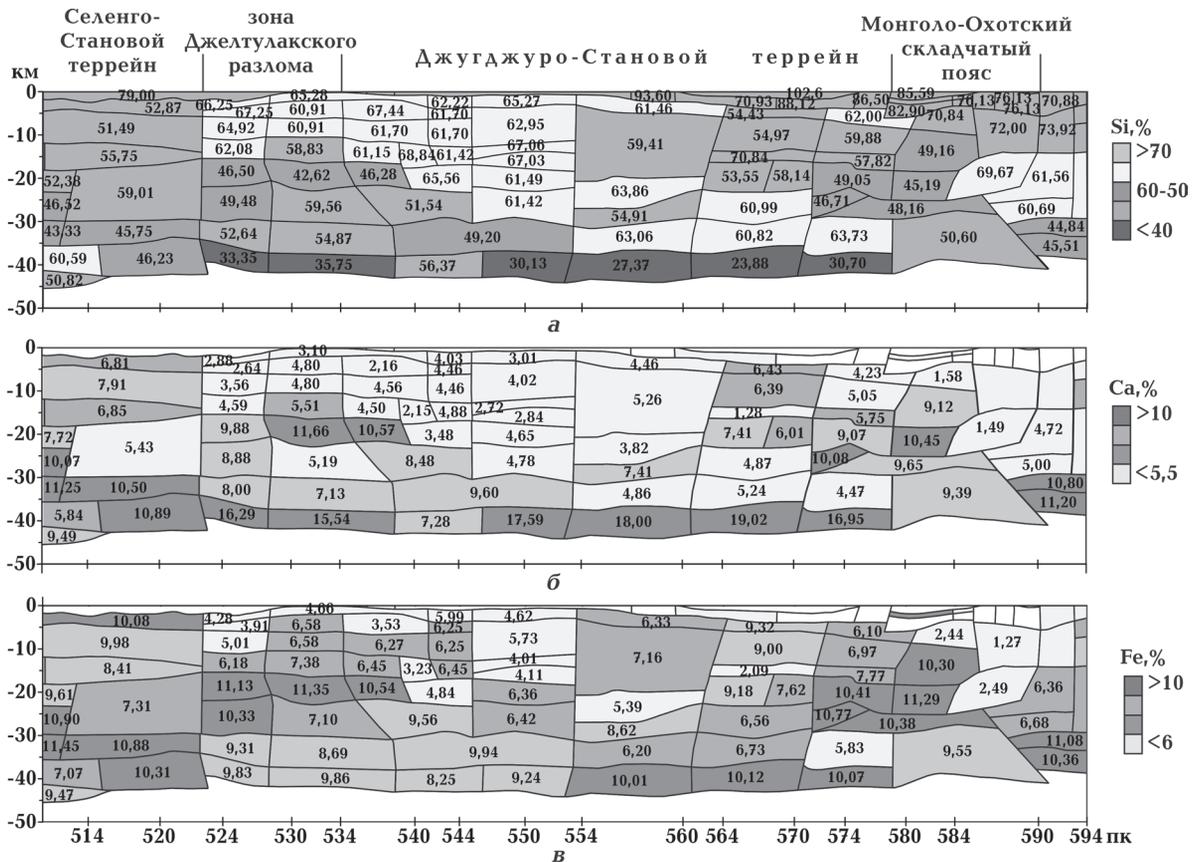


Рис. 3. Содержание оксидов кремния (а), кальция (б) и железа (в) в выделенных доменах по профилю Абакан—Тында—Татарский пролив.

интервале глубин практически от поверхности до 35 км, и только ниже (глубин 35—45 км) кремнистость уменьшается при значительном повышении содержания оксидов железа и особенно кальция (9,9 и 17,6 % соответственно). В западной части Джугджуро-Станового террейна, включая Джелтулакскую систему разломов, и в восточной части профиля (створ ПК 554—578) породы более разнообразны по составу (рис. 3). Здесь в широком интервале глубин развиты комплексы с повышенным и высоким содержанием оксидов кальция (до 11,68 %), железа (до 11,35 %) и пониженной кремнистостью (до 42—46 %).

Анализ химического состава выделенных по сейсмическим данным доменов в разрезе отрезка профиля Тында—Амурзет также показывает их дифференцированность по содержанию оксидов как по горизонтали, так и по вертикали (рис. 4). Здесь выделяются две крупные зоны максимальной изменчивости: первая охватывает западную часть профиля, включая Монголо-Охотский шов (ПК 2—23), вторая — большую часть Аргуно-Мамынского массива (ПК 27,5—44). В Джугджуро-Становой области (ПК 2—10), в интервале глубин 28—18 км, наблюдается зона развития пород с аномально высокими содер-

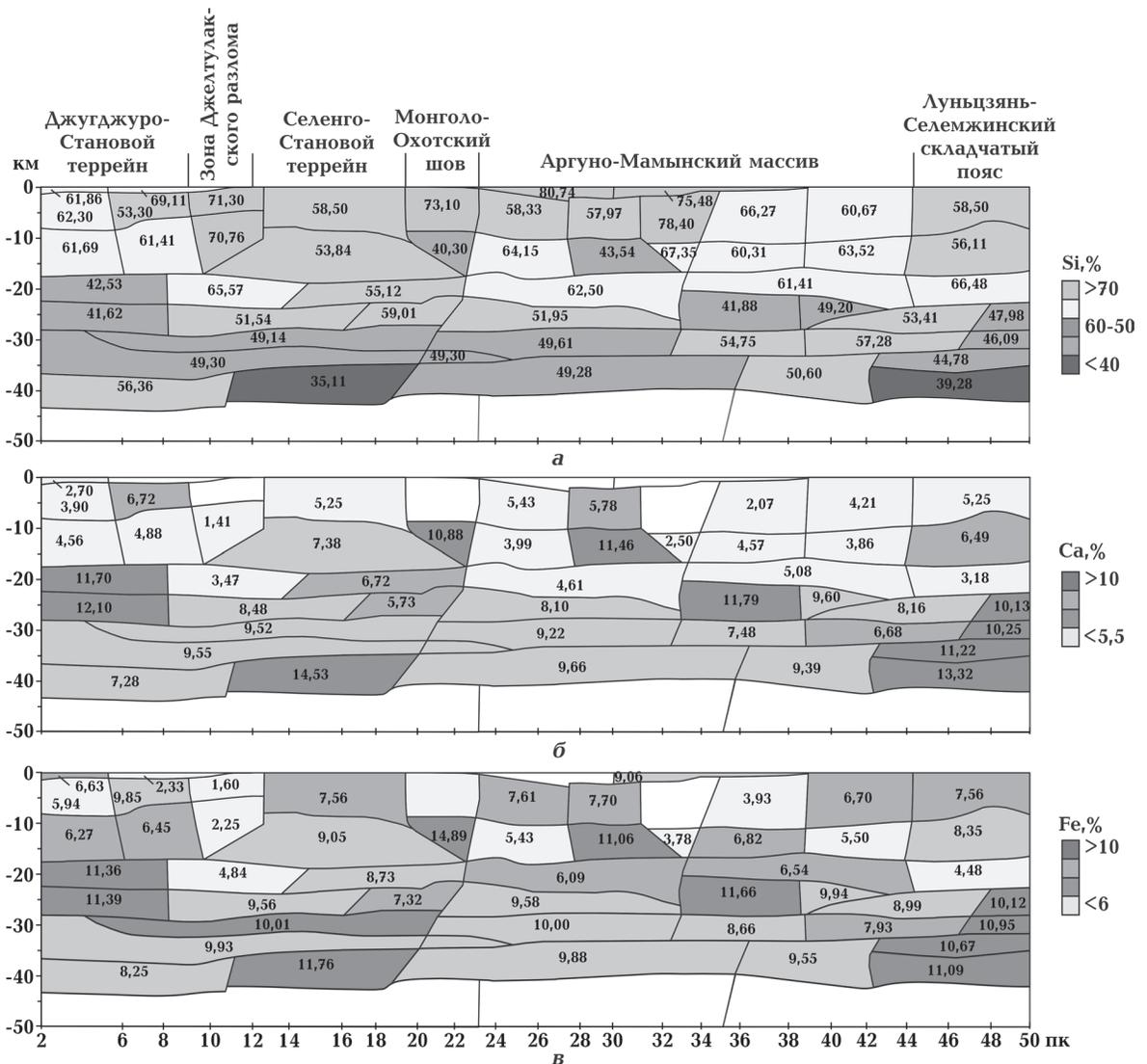


Рис. 4. Содержание оксидов кремния (а), кальция (б) и железа (в) в выделенных доменах по профилю Тында—Амурзет.

жаниями оксидов кальция и железа. Ниже, в интервале глубин 28—37 км, выделяется линза низкокремнистых пород большой протяженности, секущая на этих глубинах Джелтулакскую зону разломов, Селенго-Становой террейн и область Монголо-Охотского шва. Высококремнистые породы развиты лишь в самой верхней части разреза с максимальной выраженностью в зонах Джелтулакского разлома и Монголо-Охотского шва, где содержание  $\text{SiO}_2$  достигает 71—73 %.

В Аргуно-Мамынском террейне, особенно в его восточной части, кремнистые породы с содержанием оксида кремния выше 60 % получили значительно большее развитие, что согласуется и с пониженным содержанием оксидов кальция в них. Подстилаются эти образования линзами низкокремнистых пород с высокими содержаниями оксидов кальция и железа.

Несмотря на относительность рассчитанных содержаний в доменах оксидов кремния, кальция и железа, полученные данные могут в определенной степени отразить составы основных типов кристаллических пород консолидированной коры в разрезах рассматриваемых отрезков геотраверсов.

**Петрохимический состав породных комплексов консолидированной земной коры вдоль отрезков региональных сейсмических профилей.** Для построения геолого-геофизических (петрохимических) разрезов земной коры региона были использованы:

– сведения о скоростях продольных сейсмических волн в консолидированной коре как в створах рассматриваемых геофизических профилей, так и древних платформ вообще с учетом распространения основных петрохимических типов пород по глубинам [Christensen, Mooney, 1995];

– соотношения между рассчитанными содержаниями в доменах оксидов кремния, кальция и железа в сравнении с их средними содержаниями в основных типах пород докембрийской консолидированной земной коры, названия которых заимствованы из [Петрографический..., 2009];

– общие представления о закономерностях формирования земной коры от раннего архея до настоящего времени.

Как известно, древние метаморфические комплексы в рамках свит и формаций обычно содержат 5—10 типов пород, соотношения между которыми варьируют в широких пределах, а интрузивные комплексы, как правило, многофазные, расслоенные и также включают в себя несколько петрохимических типов плутонических и вулканогенных разностей. Поскольку осадконакопление и метаморфизм в разное время происходили в близких геодинамических условиях и в определенных объемах пространства, то их средний петрохимический состав должен некоторым образом отражаться в геофизических параметрах. То же самое касается и интрузивных комплексов пород. Вместе с тем на те или иные древние метаморфические и гранитоидные ассоциации пород могут накладываться дайковые серии другого состава, что соответственно приводит к некоторому изменению петрохимии пород, выраженной в вариациях содержания оксидов, прежде всего железа. Особой простотой химического состава различаются сложные гибридные породные ассоциации на уровне средней коры, которые могут быть представлены парагенезисом гранодиоритов, диоритов, габбро-диоритов, сиенитов, граносиенитов с разными по объему скиалитами метакомплексов докембрийского субстрата.

Комплексный анализ материалов позволил выделить в разрезе консолидированной коры в створе отрезков геотраверсов четыре метаморфических комплекса пород, три плутонических кислых, три плутонических гипабиссальных среднего состава, два вулканоплутонических основного состава и один сложный вулканоплутонический ультраосновного состава различной степени щелочности. Помимо основных петрохимических типов пород в верхней части геологического разреза выделены осадочно-вулканогенные комплексы пород зеленосланцевой фации метаморфизма с телами андезитобазаль-

тов; осадочно-вулканогенные комплексы с кремнистыми осадками и кислыми эффузивами; осадочные и вулканогенно-осадочные слаболитифицированные комплексы верхнего палеозоя и мезо-кайнозоя, выполняющие депрессии и наложенные молодые впадины.

#### *Метаморфические комплексы пород.*

1. Комплексы основного состава нормальной щелочности, недосыщенные глиноземом, типа двупироксен-плаггиоклазовых кристаллических сланцев, гранат-двупироксен-плаггиоклазовых сланцев, гиперстен-плаггиоклазовых кристаллосланцев): 48—51 %  $\text{SiO}_2$ ; 7—9 %  $\text{CaO}$ ; 6—12 %  $\text{FeO}$ .

2. Комплексы пород среднего состава амфиболитовой фации метаморфизма, типа гнейсов биотитовых, гранат-биотитовых, роговообманково-биотитовых, силлиманит-кордиеритовых и мигматитов): 59—63 %  $\text{SiO}_2$ ; 2—5 %  $\text{CaO}$ ; 3,5—6 % (до 8)  $\text{FeO}$ . Здесь же отдельно выделены блоки, представленные, судя по всему, гнейсами, кристаллическими сланцами кислого и среднего состава типа двуслюдяных, гранат-силлиманит-биотитовых, гранат-биотитовых: 65—72 %  $\text{SiO}_2$ ; 1—3 %  $\text{CaO}$ ; 2—5 %  $\text{FeO}$ .

3. Комплексы пород среднего состава нормальной щелочности гранулитовой фации метаморфизма типа биотит-двупироксен-плаггиоклазовых кристаллосланцев, гранат-двупироксеновых кристаллосланцев, кордиерит-гиперстен-плаггиоклазовых с телами метабазитов: 54—56 %  $\text{SiO}_2$ ; 7,3—7,5 %  $\text{CaO}$ ; 8,2—8,6 %  $\text{FeO}$ .

4. Кислые породы амфиболитовой фации метаморфизма, мигматиты, гранитоиды: 68—74 %  $\text{SiO}_2$ ; 1—3 %  $\text{CaO}$ ; 0,5—2,5 %  $\text{FeO}$ . Плутонические и гипабиссальные, вулканические комплексы пород.

#### *Кислые плутонические породы.*

1. Гранодиорит-диорит-сиенитовый комплекс плутонический (условно позднестановой), вероятно, с дайками долеритов: 58—61 %  $\text{SiO}_2$ ; 4,5—6,7 % (~4,5)  $\text{CaO}$ ; 6,3—9,8 % (~6,5)  $\text{FeO}$ .

2. Тоналит-грондьеит-гранодиоритовый комплекс: 63—68 %  $\text{SiO}_2$ ; 2—6 %  $\text{CaO}$ ; 0,3—4,5 %  $\text{FeO}$ . В данном блоке также вы-

делены комплексы пород, представленные сланцевым субстратом основного состава, инъецированного тоналитовым материалом: 58—63,5 %  $\text{SiO}_2$ ; 5,5—6,6 %  $\text{CaO}$ ; 6,0—7,5 %  $\text{FeO}$ .

3. Интрузивные граниты, мигматиты: 68—73 %  $\text{SiO}_2$ ; 1—2,5 %  $\text{CaO}$ ; 0,3—2 %  $\text{FeO}$ . При более высоких содержаниях кремнезема (до 78 %) и минимальных содержаниях оксида кальция и железа в верхних зонах коры выделяются кислые вулканогенные эффузивы и туфы.

#### *Средние плутонические и гипабиссальные комплексы.*

1. Комплексы пород среднего состава типа кварцевых диоритов с дайками долеритов: 57—64 %  $\text{SiO}_2$ ; 1—8 %  $\text{CaO}$ ; 0,7—7 %  $\text{FeO}$ .

2. Комплексы пород среднего состава типа диоритов, иногда с дайками долеритов: 53—58 %  $\text{SiO}_2$ ; 4—9 %  $\text{CaO}$ ; 3—6 %  $\text{FeO}$ .

3. Комплекс пород габбро-диоритового состава: 53—54 %  $\text{SiO}_2$ ; 7—8 %  $\text{CaO}$ ; 9 %  $\text{FeO}$ .

#### *Основные плутонические и вулканические комплексы.*

1. Основные плутонические комплексы нормальной щелочности, габброиды различного состава: 43—52 %  $\text{SiO}_2$ , 8—18 %  $\text{CaO}$ ; 2—15 %  $\text{FeO}$ . К данному петротипу отнесен и комплекс кристаллических сланцев и гнейсов, интродуцированных в различной степени основными мафитами (характеризуются пониженными  $V_p < 6,6$  км/с и повышенным содержанием кремнезема ~53—55 %).

2. Основные вулканические комплексы нормальной и повышенной щелочности типа базальтов, пикробазальтов, плаггиобазальтов, щелочных базальтов: 45—52 %  $\text{SiO}_2$ , 5—12 %  $\text{CaO}$ ; 6—12 %  $\text{FeO}$ .

#### *Ультраосновные плутонические и вулканические комплексы нормальной щелочности и щелочные.*

Содержат широкий спектр пород от пикритов, ферропикритов и, возможно, меллититов, нефеленитов до дунитов, гарцбургитов, верлитов, ийолитов и т.п., которые характеризуют разновременные многофазовые расслоенные интрузии разных глубин выплавления, офиолитовые комплексы

палеоокеанической коры. Усредненные содержания рассчитанных оксидов в зависимости от щелочности пород составили: 35—44 % SiO<sub>2</sub>; 6—14 % (0,2—2) CaO; 4—12 % (3—6) FeO.

Определенным критерием подлинности выделенных петрохимических комплексов может служить сопоставление состава блоков в области пересечения геофизических профилей. В пределах коры Джугджуро-Станового террейна пересечение профилей и приходится на створ интервала ПК 8—10 профиля Тында—Амурзет и створ ПК 541—544 профиля Абакан—Тында—Татарский пролив. На геологической карте региона (рис. 5) видно, что в данном узле архейские метаморфические гнейсы и кристаллические сланцы джигдалинской свиты прорваны многофазовым поздне-становым батолитом гранодиорит-диорит-сиенитов. В связи с тем, что профиль Абакан—Тында—Татарский пролив в большей степени пересекает метаморфические породные комплексы, а профиль Тында—Амурзет — породы инъекционного батолита,

на петрохимических разрезах и отражено различие в составах верхней 15-километровой коры, что не противоречит общей геологической ситуации и выделенным комплексам. Так, из рис. 6 и 7 следует, что нижняя и средняя части коры по составу совершенно идентичны.

Таким образом, выполненные исследования позволили впервые для данного региона построить достаточно обоснованные петрохимические разрезы земной коры, которые могут служить основой для создания геолого-геофизических моделей, отражающих последовательность формирования вещественно-формационных комплексов и место рудогенерирующих процессов в исследуемом геологическом пространстве.

**Отражение петрохимического состава консолидированной коры в вещественно-породных комплексах приповерхностных образований и краткая история становления и преобразования земной коры рассматриваемой территории.** Процессы становления и преобразования земной коры

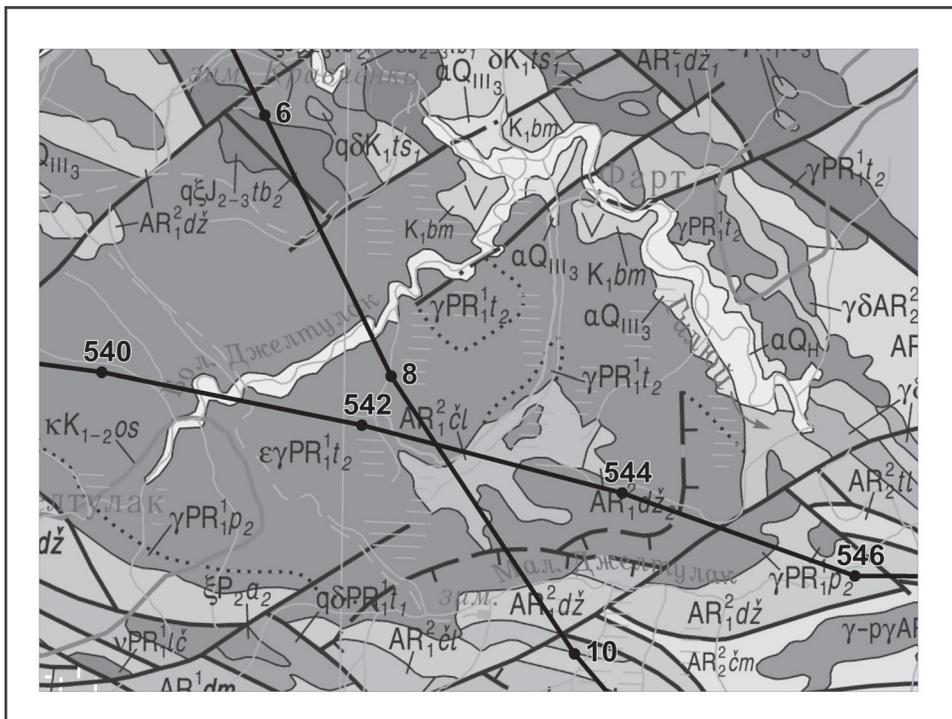


Рис. 5. Область пересечения профилей ГСЗ на геологической карте региона.

должны в той или иной степени находить свое отражение в составе вещественных комплексов, выходящих на земную поверхность в зонах проложения отрезков сейсмических профилей. Нас, прежде всего, интересуют преобразования докембрийской коры в палеозойско-мезозойское время в пределах трех основных террейнов, в которых и сосредоточены месторождения золота и сопутствующих ему металлов.

*Профиль Абакан—Тында—Татарский залив (рис. 6).*

Вдоль профиля приповерхностные образования субстрата Селенго-Станового террейна представлены архейскими и палеопротерозойскими метаморфическими комплексами (состав и предполагаемые возрастные рубежи указаны в легенде к карте [Государственная..., 2009]), древне-становым плагиогранитами ( $\rho\gamma AR_1^{2ds}$ ) и позднестановыми гранитоидами  $\epsilon\gamma PR_1^1$ ? (субщелочные граниты, сиениты, гранодиориты, граниты). В последние годы среди гранитоидов древнестановового и позднеста-

нового комплексов пород выделены широкие поля развития гранитоидов юрского и мелового возраста [Котов и др., 2014 и др.], в связи с чем отнесение указанных комплексов к нижнему архею и палеопротерозою достаточно условно.

Архейско-палеопротерозойские комплексы пород в пределах отрезка профиля прорваны редкими гранитами среднего-верхнего карбона (ПК 492); лучинскими мафит-ультрамафитовыми интрузиями (ПК 498, 519) габбро, пироксенитов, горн-блендитов и перидотитов ( $248 \pm 1$  млн лет) [Бучко и др., 2008] и токско-алгоминским кварцево-диоритовым комплексом ( $238 \pm 2$  млн лет) [Сальникова и др., 2006].

В обнажениях (ПК 490, 497, 498—499, 500, 502, 505, 511, 514, 515—517, 521—522) отмечаются выходы интрузивных пород амананского комплекса средней юры ( $162,6 \pm 1,4$  млн лет по данным U-Pb датирования цирконов). Амананский многофазовый монцонит-гранитовый комплекс представлен диоритами, кварцевыми дио-

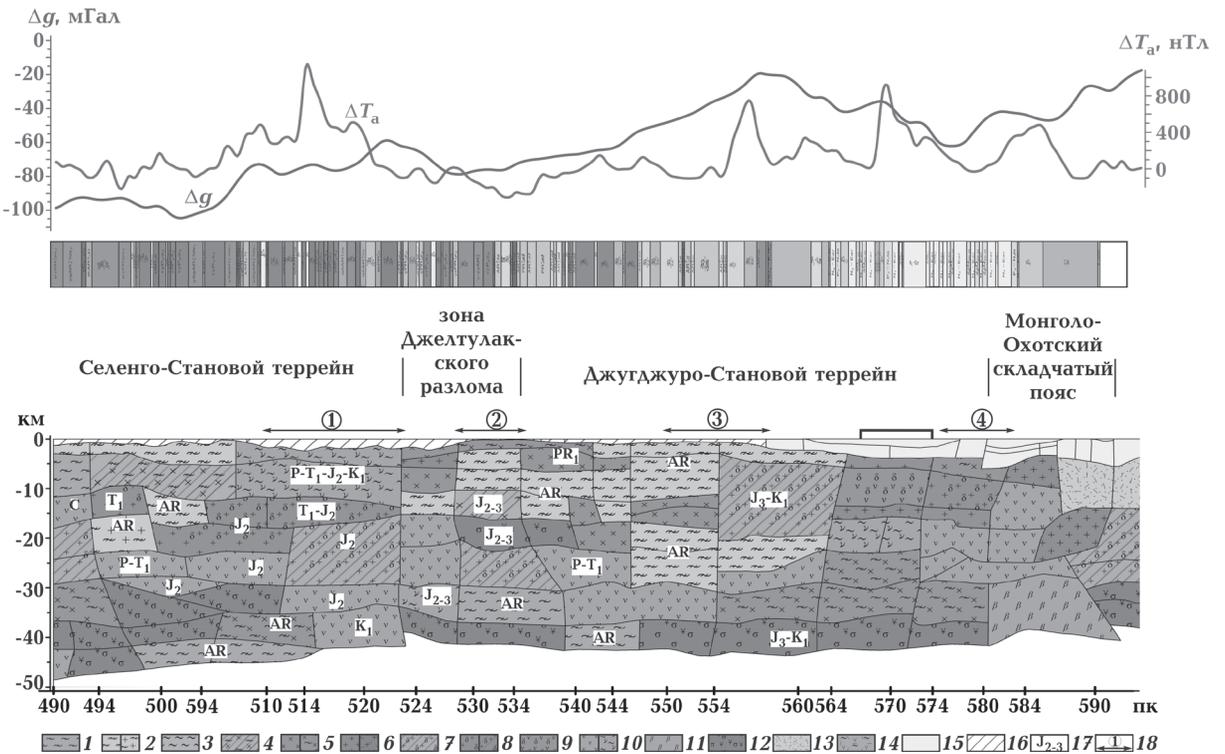


Рис. 6. Петрохимический разрез земной коры в створе отрезка геотраверса Абакан—Тында—Татарский пролив.

ритами, кварцевыми монцонитами, иногда габброидами; гранодиоритами, тоналитами, сиенитами, в том числе щелочными; лейкогранитами, кварцевыми сиенитами, субщелочными лейкогранитами. Для образования представленного комплекса пород необходимы гибридные магмы, формирующиеся за счет плавления метаморфических пород под воздействием мантийных расплавов. И действительно, на уровне средней консолидированной коры отмечаются домены пород среднего состава, развитые с глубин от 12 до 23 км (в юго-восточной части до 30 км) «подпираемые» доменами пород основного и ультраосновного состава.

Завершается геологическое развитие рассматриваемой части земной коры процессом внедрения субвулканических трахибазальтов, трахиандезибазальтов и трахилипаритов инегирского комплекса раннемелового возраста. Вулканиды, наряду с туфами, отмечаются среди терригенных осадочных комплексов нижнего мела.

Сейсмический профиль в районе ПК

522,5—534 проходит практически вдоль зоны Джелтулакского разлома. В поверхностных условиях обнажаются условно-древнестановые плагиограниты и позднестановые кислые комплексы, прорванные субщелочными гранитами и лейкогранитами амананского комплекса средней юры, а также монцонит-гранитовым амуджиканским комплексом верхней юры. В створе разлома на глубинах 15—30 км фиксируются домены основных и ультраосновных пород, базифицированный комплекс метаморфических пород и, наконец, на уровне 35—42 км ультраосновные комплексы.

С ПК 534 до ПК 578 профиль пересекает юго-восточную часть Джугджуро-Станового террейна. До ПК 546 в створе профиля — выходы нижнеархейских метаморфических комплексов, преобладают кислые палеопротерозойские комплексы пород.

Далее до ПК 558 уже доминируют архейские образования (смотри легенду к карте [Государственная..., 2009]), а с ПК 558 и до 583 профиль пересекает преимущественно

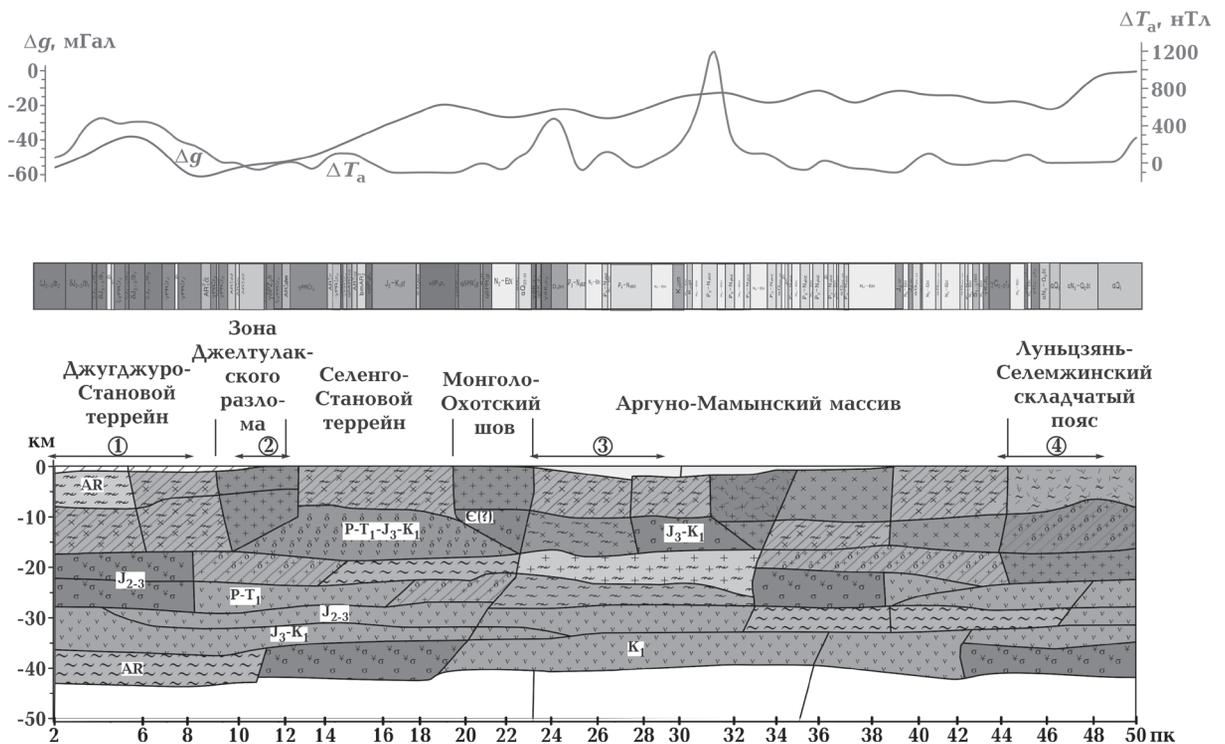


Рис. 7. Петрохимический разрез земной коры в створе отрезка геотраверса Тынца—Амурзет.

но кайнозойские осадочно-вулканогенные отложения наложенной Верхне-Зейской депрессии. В интервале ПК 538—545 на поверхности древние метаморфические комплексы прорваны тукурингскими гранитами верхней юры—нижнего мела —  $145 \pm 5$  ( $\gamma PR_1^1 t_2$  на карте). На границе с впадиной метаморфические комплексы прорваны древнестановыми гранитами и гранодиоритами верхней юры—нижнего мела.

В створе распространения архейских метаморфических пород верхняя консолидированная кора переработана слабо и представлена преимущественно метаморфическими петрохимическими доменами. Вместе с тем нижняя кора Джугджуро-Станового террейна сложена ультраосновными комплексами пород, сменяющимися на глубинах 25—30 и 30—37 км доменами с породами основного состава.

В створе ПК 554—562 на глубинах от 3—4 км и до глубин 18 км в консолидированной коре отмечается мощный домен, выполненный породными комплексами типа диоритов с дайками долеритов. На поверхность выходят гранодиориты верхней юры—раннего мела.

До границы с Монголо-Охотским складчатым поясом (ПК 578) в верхней консолидированной коре преобладают породы среднего состава типа диоритов, подстилаемые на уровне средней коры габброидами и сильнобазифицированными метаморфическими комплексами. Архейские метаморфиты нижней коры в створе рассматриваемого интервала сменяются в низах геологического разреза ультрамафитами.

Основание Монголо-Охотского пояса, как и следовало ожидать, выполнено основным вулканогенным комплексом, сменяющимся многофазовым габброидным. Верхняя консолидированная кора, перекрытая осадками Верхне-Зейской впадины, сложена метаморфизованными и гранитизированными кислыми комплексами областей сноса.

*Профиль Тында—Амурзет (рис. 7).*

В своем начале вдоль профиля на поверхность Джугджуро-Становой области

(ПК 2—12) выходят архейские метаморфические образования, прорванные гранитами и сиенитами тукурингского комплекса верхней юры—раннего мела. Последние, в свою очередь, прорваны сиенитами и диоритами тындинско-бакаранских образований раннего мела, а в створе ПК 2—3 отмечаются и выходы гранитоидов токско-сиваканского гранодиоритового комплекса  $\gamma K_1 ts$  (кварцевые монцониты, монцониты, диориты, кварцевые сиениты, субщелочные граниты).

Выходы на поверхность мезозойских щелочных гранитоидов и интрузивных пород среднего состава хорошо согласуются с петрохимическим составом глубинных доменов. Данная согласованность отражена до глубин 17—18 км комплексом метаморфических пород среднего состава, интродуцированных дайковой серией основного состава. На уровне 18—28 км фиксируется домен пород ультраосновного состава, а ниже — комплексы основного состава, внедренные в метаморфиты архея. На стыке Желтулакской зоны разломов с Селенго-Становым террейном (ПК 11—12) на поверхности отмечаются выходы худачинского гранит-гранодиоритового комплекса поздней юры-раннего мела.

Территория Селенго-Станового террейна пересекается профилем в створе ПК 12—19. Выходящие на поверхность архейские метаморфические комплексы прорваны габбро-диоритовыми интрузиями пиканского комплекса нижней перми  $v \delta P_1 p_1$  (ПК 15,5 и 18—19,5) и нижнетриасовыми токско-алгоминскими кварцевыми диоритами [Сорокин, 2005].

В интервале (ПК 14,3) обнажаются массивы перидотитов и габбро разновозрастного лучанского комплекса, судя по последним изотопно-геохронологическим данным, верхнеюрского возраста и гранитоидов тукурингского комплекса (J-K<sub>1</sub>) (ПК 12—14). В наложенной верхнеюрско-нижнемеловой депрессии (ПК 15,5—18) отмечаются туффиты среди терригенных пород стрелкинской свиты.

Верхняя консолидированная кора на отрезке профиля до 8 км представлена

гранодиорит-сиенитовым комплексом пород с дайками основного состава. Подстилается домен до глубин 18 км комплексом пород типа габбро-диоритов (высокое содержание железа), а на глубинах 22—28 км отмечается блок базифицированных кварцевых диоритов. Кора на глубинах 23—35 км представлена тремя доменами основного состава и ультрамафитами в нижней коре.

Монголо-Охотский шов на профиле ГСЗ с глубины ~17 км выражен разломом, падающим под Селенго-Становой террейн и разделяющим домены различного петрохимического состава. На уровне 17—8 км отмечается высокоскоростной блок ультраосновных пород. Можно предположить, что наличие такого блока в створе Монголо-Охотского шва связано с эксгумацией офиолитовой коры палеоокеана на указанные уровни при закрытии последнего в результате коллизии. Верхняя кора, как и на предыдущем профиле, выполнена гранитизированными комплексами областей сноса.

Аргуно-Мамынский террейн в створе профиля Тында—Амурзет на поверхности перекрыт небольшими по распространению осадочными комплексами раннего девона и силура (по бортам Верхне-Зейской депрессии), изредка средней юры и раннего мела и преимущественно терригенными отложениями палеогена и неогена. На границе с Монголо-Охотским швом осадочные породы прорваны гранодиоритами, кварцевыми диоритами и субщелочными гранитами верхнеамурского комплекса и монзонит-гранодиоритами бурундинского  $\gamma\delta K_1 v_1(b_1)$ . Проявления последнего отмечаются и на стыке с Луныцзянь-Селемжинским орогенным поясом.

Нижняя кора Аргуно-Мамынского блока с 28 км в северо-западной и с 32 км в юго-восточной части разреза до 41 км представлена трехчленным мафитовым петрохимическим доменом. Аналогичный по составу домен фиксируется и на стыке с Луныцзянь-Селемжинским орогенным поясом на глубинах 22—28 км. В створе ПК 27,5—31,5, а также в створе ПК 33—38,5 на

глубинах 10—17 и 20—27 км соответственно зафиксированы блоки, выполненные ультраосновными породами различной щелочности. Над ними в первом случае в верхней коре «залегает» базифицированные в разной степени кислые породы, а во втором случае — область пород гибридного состава, сменяющаяся в верхней коре доменом базифицированных гранитогнейсов.

Таким образом, материалы показывают, что древняя консолидированная кора в створе сейсмических профилей существенно переработана более поздними палеозойско-мезозойскими процессами. Процессы отражаются в виде наличия в нижней коре доменов ультраосновного состава, переходящих вверх по геологическому разрезу в «разновременные» домены пород основного состава, на уровне 10—23 км сменяющиеся хорошо выраженными в петрохимическом составе комплексами пород среднего состава, отражающих, судя по всему, области формирования гибридных магм. И, наконец, в верхней консолидированной коре разновозрастные древние кислые комплексы пород в той или иной степени подвержены базификации или прорваны комплексами гранитоидов мезозойского возраста.

**Краткая история развития региона.** Приведенные выше материалы о возрасте и составе приповерхностных образований и их определенном соответствии петрохимическим блокам в створе профилей должны находить отражение в истории становления древней коры территории, которая рассмотрена с разных позиций в значительном количестве статей и монографий. Согласно им возраст тоналитов основания Селенгино-Становой гранит-зеленокаменной области и зеленокаменных поясов в ее пределах имеет широкий разброс значений с древнейшими отметками протолита в 3,6 млрд лет. Надежно фиксируются тектономагматические и метаморфические события возрастом 1,9—1,87 млрд лет, приведшие к ретроградному метаморфизму амфиболитовой фации, мигматизации и гранитизации отложе-

ний палеопротерозоя, внедрению габбро-анортозитов.

Джугджуро-Становой гранит-зеленокаменный супертеррейн представлен комплексами пород, метаморфизованных в гранулитовой и амфиболитовой фациях. Возраст основания блоков (становой комплекс) ~2,78 млрд лет при возрасте протолита 3,2—2,8 млрд лет. Породы тоналит-трондьемит-диоритового состава занимают до 55 % площади, габброиды — до 20 %.

Естественно, что дофанерозойская история становления земной коры региона была более сложной. Так, определение возраста событий U-Pb методом по цирконам различных пород Алдано-Становой области позволило выделить основные этапы докембрийского преобразования субстрата области: 3,4—3,1—(3,04—3,02)—2,9—(2,7—2,6)—2,4—(2,2—2,1)—(2,0—1,9)—(1,76—1,68) млрд лет [Гурьянов и др., 2012].

Разделяющий супертеррейны Джектулакский пояс сложен разновозрастными породами от древних становых комплексов с чарнокитами (2,78 млрд лет) до меловых.

Аргуно-Мамынский террейн отделен от вышеназванных террейнов Монголо-Охотским складчатым поясом. Многие кардинальные вопросы формирования этого пояса, как и самого террейна, до настоящего времени не решены, что в первую очередь обусловлено дефицитом геохронологических, геохимических и изотопно-геохимических данных. В строении фундамента террейна, в частности Аргунского, Гонжинского и Мамынского блоков, как правило, выделяются архейский, нижнепротерозойский этажи и средне-верхнепротерозойский—нижнекембрийский структурные этажи, хотя они и не подтверждены изотопными методами. Непосредственно вдоль границы со складчатым поясом широко распространены силурийские, девонские и нижнекаменноугольные терригенно-карбонатные отложения [Сорокин, 2005; Государственная..., 2009].

Согласно одному из тектонических сценариев, Аргунский и Мамынский блоки террейна представляют собой фрагменты

Гондваны. В пользу этого свидетельствуют палеомагнитные данные, указывающие на разницу в положении Сибирского континента и Аргунского супертеррейна, и, наоборот, близость последнего к Северо-Китайскому континенту в раннем и среднем девоне [Kravchinsky et al., 2002]. Если это предположение справедливо, то «отпадает» вопрос о времени «заложения» Монголо-Охотского океана, поскольку не было раскола единого Сибирского континента, как это предполагается в работе [Парфенов и др., 2003].

В таком варианте континентальные окраины террейнов имели независимую (до момента сближения и столкновения) геологическую историю. Естественно, что процессы образования и преобразования пород в том или ином террейне, или блоке проявлены дискретно в зависимости от положения блока на определенной стадии эволюции коры региона. В различных блоках могут происходить от 3—4 до 7—8 этапов, но основные крупные события конца палеозоя—начала мезозоя в той или иной степени часто проявлены во всех структурно-вещественных комплексах рассматриваемого региона, что определяется глобальными процессами.

В байкальский этап (рифей—венд) между континентальными блоками (Селенго-Верхневитимским, Приаргунским, Сибирским и др.) функционируют рифтогенно-спрединговые бассейны на океанической коре [Кузьмин и др., 2011]. Южная окраина Сибирского континента и палеомикроконтиненты развивались в обстановке пассивных континентальных окраин. В конце этапа (венд—ранний палеозой) в океанических бассейнах происходит формирование островодужных систем энсиматического типа, позднее на периферии континентальных блоков — энсиалического.

Другими словами, к началу кембрия между Джугджуро-Становым террейном, Селенго-Становым блоком и условно Аргунским существовала океаническая кора (серии спрединговых бассейнов Монголо-Охотского океана).

В каледонско-герцинский этап в океаническом бассейне продолжают формироваться офиолитовые, островодужные энзиматические комплексы, осадочные толщи пассивных континентальных окраин. В начале герцинского этапа развития региона (девон—ранний карбон) океаническая кора Восточно-Забайкальско-Охотского бассейна поглощалась в зоне субдукции на юге Малхано-Яблонового террейна с формированием активной окраины в пределах Селенго-Становой области. В это же время (~ 336 млн лет) произошла аккреция террейна в структуру Сибирского палеоконтинента с выплавлением гранитоидов [Рыцк и др., 2013].

В пределах Аргуно-Мамынского террейна отмечается ранне- и среднеордовикский («домонголо-охотский» этап) гранитоидный магматизм, а также позднедевонский гранитоидный и раннепермский габбро-диорит-гранодиорит-гранитный. Последние этапы магматизма непосредственно связаны с формированием Монголо-Охотского складчатого пояса. Наиболее вероятной геодинамической обстановкой становления указанных магматических комплексов является обстановка активной континентальной окраины [Сорокин, 2005].

В среднепозднем карбоне в регионе начинает формироваться вулканогенно-плутонический пояс (ВПП) кордильерского типа с интрузиями граносиенитов, гранодиоритов.

В это же время (конец карбона—начало перми) происходит соединение Аргунского, Мамынского и Буря-Цзямусинского террейнов в единый Амурский супертеррейн. Этому событию, вероятно, соответствует формирование гранитоидов, субщелочных и щелочных гранитов и лейкогранитов возрастом 280—260 млн лет.

Как известно, индикаторами тех или иных геодинамических обстановок служат проявления мафит-ультрамафитового магматизма и его геохимические характеристики. При этом, как подчеркивалось многими исследователями, обычно не более 25 % магм достигают поверхности, кри-

сталлизация которых преимущественно происходит на уровнях нижней и средней земной коры. В связи с этим в приповерхностных условиях территорий, пересекаемых сейсмическими профилями, не всегда фиксируются тела основных интрузий, они могут локализоваться в створе геологических разрезов.

В пермско-раннетриасовое время (285—248 млн лет) Монголо-Охотский океан продолжает существовать как бассейн рифтогенно-спредингового типа. В обрамляющих Восточно-Забайкальский сегмент палеоокеана континентальных блоках (юго-западная часть Алдано-Станового щита и Селенго-Становой террейн с одной стороны и Аргунский массив с другой) формируются вулканогенно-плутонические пояса.

Селенгинский вулканогенно-плутонический пояс в начале своего развития соответствовал обстановке субдукции под южную окраину Северо-Азиатского кратона, а затем обстановке трансформной континентальной окраины [Парфенов и др., 2003]. В последнее время получены свидетельства позднепалеозойской-раннемезозойской (250—180 млн лет) магматической активности в пределах Джугджуро-Станового террейна, которая связывается также с процессами субдукции под него коры Монголо-Охотского палеоокеана.

Таким образом, пермско-раннетриасовый (285—248 млн лет) этап ультрамафит-мафитового магматизма установлен как в пределах Селенго-Станового, так и Джугджуро-Станового супертеррейна. Он фиксируется внедрением дунит-троктолит-габбровой ассоциации пород, геохимические особенности которой — незначительное обогащение LREE, Sr, Ba и деплетирование в отношении HREE, Th, Nb, что свидетельствует об обстановке активных континентальных окраин [Бучко, 2010].

К указанному времени в Селенго-Становом террейне происходило внедрение Лукиндинского массива (248 млн лет), мафиты которого могут быть отнесены к островодужным образованиям, а также к образованиям субдукционных гранодио-

ритов и диоритов токсско-алгоминского комплекса (238—2 млн лет) [Ларин и др., 2005; Бучко, 2010].

В пределы Джугджуро-Станового террейна внедряются расслоенный Лучинский габбро-норитовый массив (248—1 млн лет) и Ильдеусский верлит-габбровый, магмы которых близки к аналогам субдукционных обстановок, образующихся из надсубдукционной мантии.

Следующие два сближенных этапа ультрамафит-мафитового магматизма юго-восточного обрамления Северо-Азиатского кратона приходятся на поздний триас-раннюю юру и позднюю юру. В среднем триасе—начале юры (228—203 млн лет) Восточно-Забайкальский сегмент Монголо-Охотского океана начинает вырождаться и в среднепоздней юре «захлопывается», что сопровождается коллизией террейнов и формированием коллизионного ВПП [Гусев и др., 1995; Рыцк и др., 2013]. Магматическим отражением орогенных процессов являются, в частности, субдукционные токсско-алгоминские гранодиориты и диориты (239—180 млн лет). Достаточно мощно проявлен и эффузивный магматизм, но более широкого диапазона — от базальтов (трахибазальтов) до риолитов.

Позднетриасово-раннеюрский (228—203 млн лет) этап ультрамафит-мафитового магматизма проявлен в пределах Джугджуро-Станового супертеррейна габбровой и пироксенит-габброноритовой ассоциацией пород, представителями которого являются массивы Ульдегит и Чек-Чикан (228±1 и 203±1 млн лет соответственно). Массивы обладают весьма специфическими геохимическими особенностями, что может свидетельствовать о смене характера взаимодействия плит.

Позднеюрский (159—154 млн лет) этап ультрамафит-мафитового магматизма установлен в пределах Селенго-Станового супертеррейна и представлен перидотит-вебстерит-габбровой и перидотит-габбромонцодиоритовой ассоциациями — Веселкинский и Петропавловский массивы (154±1 и 159±1 млн лет соответственно) [Бучко, 2010].

Породам обоих этапов свойственны двойственные геохимические особенности, обусловленные смешением субдукционных и внутриплитных характеристик, позволяющие предположить, что формирование поздне триасово-раннеюрских массивов происходило в обстановке трансформной континентальной окраины. Судя по всему, выплавление мафитов связано с прекращением субдукции и последующим разрывом субдуцируемой пластины. В этом случае в образовавшуюся брешь поступало астеносферное вещество, что и привело к возникновению магм, по своим геохимическим характеристикам несущим признаки как субдукционного происхождения, так и внутриплитных источников [Бучко, 2010].

В поздней юре (оксфорд)—раннем мелу (баррем) (160—121 млн лет) произошло окончательное закрытие Монголо-Охотского океанического залива и формирование на его месте складчатого пояса. Следовательно, более молодые по отношению к этому поясу комплексы являются постколлизионными.

Наиболее молодой этап ультрабазит-базитового магматизма реконструируется по формированию раннемеловых габброидов Верхнеларбинского массива (134±4 млн лет) Джугджуро-Станового супертеррейна. В его строении участвуют высококалиевые габброиды и кварцевые диориты. Данные породы соответствуют известково-щелочным базальтам задуговых бассейнов или щелочным базальтам островных дуг.

Таким образом, влияние столкновения Становой провинции и Монголо-Охотской островодужной области проявилось в четырех стадиях интенсивного магматизма.

1. В режиме растяжения активной континентальной окраины внедрились расслоенные мафит-ультрамафиты возрастом 248 млн лет и субдукционные гранодиориты и диориты (239—180 млн лет).

2. Позднее, при аккреции островных дуг, выплавились коллизионные тукурингские и позднестановые граниты (142—138 млн лет назад), а также такса-

кандинские граниты (124 млн лет).

3. Возобновление режима активной окраины привело к образованию тындинско-бакаранских гранит-гранодиоритовых батолитов и их вулканических комагматов (127 млн лет назад).

4. На заключительном этапе причленения Амурской плиты образовались небольшие постколлизийные субвулканы граносиенит-порфиры и шошонит-латитовые дайки [Ларин и др., 2005].

В пределах Аргуно-Мамынского террейна на данном этапе развития территории (поздняя юра—ранний мел) сформировался Умлекано-Огоджинский ВПП [Чжан Хун и др., 2000; Гордиенко и др., 2000; Сорокин, 2005]. На основании проведенных геохронологических исследований ( $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ ) [Сорокин, 2005] выявлена следующая последовательность формирования позднемезозойских магматических комплексов западного фланга Умлекано-Огоджинского ВПП: 1) гранит-гранодиоритовый (верхнеамурский) комплекс (134—140 млн лет); 2) монцодиорит-гранодиоритовый (буриндинский) комплекс (127—130 млн лет), которые представлены известково-щелочными ассоциациями I- и S-типа. Геохимические особенности раннемеловых гранитоидных и близких им по возрасту андезитовых комплексов Умлекано-Огоджинского пояса (умеренное содержание LILE, дефицит Nb, Ta, определенный избыток Sr) дают основания полагать, что магмообразующим субстратом для них была смесь корового и мантийного источников (возможно, и обогащенной мантии).

Породы более поздних субщелочных и щелочных ассоциаций: андезитовый (талданский) комплекс (124—126 млн лет), трахибазальт-риолитовый (галькинский) комплекс (115—119 млн лет) и трахиандезитовый комплекс (94—97 млн лет) обладают геохимическими признаками внутриплитного происхождения и должны рассматриваться как наложенные на пояс образования. Магматизм — посторогенический. В его проявлении четко выражена возрастная дискретность, причем вулка-

нические или плутонические комплексы каждого импульса характеризуются геохимическими особенностями, присущими только ему.

Отдельные эпизоды формирования и становления земной коры рассматриваемой территории, «вырванные» из контекста истории развития региона, отражены и в створе геофизических профилей. Причем вне зависимости от механизмов образования расплавов, отражение их производных в приповерхностных условиях должны фиксироваться на уровнях средней и нижней консолидированной коры в виде доменов определенного петрохимического состава. С учетом поставленных задач и металлогенической специализации территории нас в первую очередь интересуют наложенные на древний субстрат процессы, происходившие в позднем палеозое—мезозое и частично рассмотренные выше.

Так, в пределах Селенго-Становго террейна на геофизических профилях отражено, помимо внедрения гранитоидов среднего—верхнего карбона, пермтриасовое тектономагматическое событие в виде внедрения габбро-диоритов пиканского комплекса нижней перми, лучинских мафит-ультрамафитовых интрузий ( $248 \pm 1$  млн лет) и токсско-алгоминских кварцевых диоритов ( $238 \pm 2$  млн лет) поздней перми—раннего триаса ( $238 \pm 2$  млн лет); средне-позднеюрско-раннемеловое событие в виде амананского комплекса ( $162,6 \pm 1,4$  млн лет) средней юры и тукурингского комплекса поздней юры-раннего мела ( $145 \pm 5$  млн лет). Кроме того, в створе профиля отмечены проявления раннемеловых трахибазальтов и трахиандезитобазальтов (~130 млн лет).

В пределах Джугджуро-Станового террейна на геофизических профилях, помимо пермского Лукиндинского массива ( $284 \pm 7,5$  млн лет), отмечены проявления раннеюрского и позднеюрского событий в виде амананского и амуджиканского комплексов, позднеюрско-раннемеловое тектономагматическое событие в виде тукурингских гранитоидов ( $145 \pm 5$  млн

лет), а также раннемеловые интрузии гранитоидов токсско-сиваканского и тындинско-бакаранского комплексов.

Аргуно-Мамынский террейн в створе профиля Тында—Амурзет в значительной степени перекрыт осадочными комплексами Амура-Зейской депрессии. Вместе с тем на границах с Монголо-Охотским складчатым поясом и Луныцзянь-Селемжинским поясом на поверхность выходят позднеюрско-раннемеловой верхнеамурский гранит-гранодиоритовый комплекс (134—140 млн лет) и, соответственно, меловой Буриндинский монцодиорит-гранодиоритовый комплекс (127—130 млн лет) [Сорокин и др., 2003; Derbeko, 2004], входящие в состав Умлекано-Огоджинского вулканоплутонического пояса. В породах депрессии отмечаются ранне-поздне-меловые эффузивы основного—кислого состава.

Таким образом, в пределах Джугджуро-Станового и Селенго-Станового террейнов, помимо палеопротерозойского этапа формирования мафит-ультрамафитовых массивов (1,87—1,70 млрд лет тому назад), источником которых наряду с островными дугами и офиолитами были и внутриплитные базальты, широко проявлен магматизм конца палеозоя—начала мезозоя. Пермско-раннетриасовые, познетриасово-раннеюрские, позднеюрские и раннемеловые интрузии формировались как в обстановках активной континентальной окраины на первом этапе, так и преимущественно в обстановках трансформных окраин, что привело к возникновению магм, по своим геохимическим характеристикам несущим признаки и субдукционного происхождения и участия внутриплитных источников.

К позднепалеозойскому—мезозойскому этапам развития территории относится и формирование Приамурской золотоносной провинции.

**Отражение процессов рудообразования в геолого-геофизических параметрах консолидированной земной коры.** Как показывает обзор истории развития региона и его металлогении, рудоносными объек-

тами преимущественно являются гранитоиды вулканоплутонических поясов, наложенных на вещественно-породные комплексы более ранних стадий становления земной коры.

Так, в пределах Селенго-Станового террейна (вулканоплутонического пояса) месторождения и рудопроявления в основном связаны с позднеюрскими и раннемеловыми гранитоидными ассоциациями.

В пределах Джугджуро-Станового террейна выделяются рудоносные образования двух этапов: позднеюрско-раннемелового (чубачинский, тындинско-бакаранский и тукурингрский комплексы) и раннемелового (ираканский и талгыгский комплексы).

В пределах Аргуно-Мамынского террейна незначительные рудопроявления связаны с цепочкой габбро-диорит-гранодиорит-гранитных интрузий пермского возраста. Рудоносность гранитоидов познетриасово-ранне-среднеюрского возраста в настоящее время оценивается отрицательно. Основные же перспективы развития рудно-сырьевой базы территории связаны с комплексами наложенной Умлекано-Огоджинской вулканоплутонической зоны. В пределах зоны выделяют позднеюрско-раннемеловую диорит-гранитовую, раннемеловую граносиенит-гранитовую и гранодиорит-гранитовую рудоносные ассоциации [Стриха, 2012].

При этом в составе гранодиорит-гранитовых ассоциаций присутствуют те или иные объемы габброидов и пород среднего состава; в составе монцодиорит-гранитовых и граносиенит-гранитовых ассоциаций — пород среднего состава. В составе граносиенит-лейкогранитовой и гранит-лейкогранитовой ассоциаций породы основного и среднего состава не фиксируются. Другими словами, состав пород мезозойских рудоносных гранитоидных ассоциаций Верхнего Приамурья варьирует в широких пределах — от основных до ультракислых и от пород нормальной щелочности до субщелочных.

Для коренных месторождений золота и сопутствующих ему металлов характерен

пестрый состав даек и штоков, а также диоритовый (монцитонитовый) состав вмещающих золотое оруденение интрузивов, которые сопровождаются месторождениями россыпного золота [Эйриш, Сорокин, 2005].

Оценка геодинамических условий формирования гранитоидов региона носит дискуссионный характер. Их формирование прежде всего связывалось с субдукцией океанической коры в условиях активной континентальной окраины. Изотопно-геохимические материалы, приведенные в работе [Стриха, 2012] показывают, что на диаграмме  $\epsilon\text{Nd}$ — $\epsilon\text{Sr}$  гранитоиды в целом занимают промежуточное положение между полями базальтов срединно-океанических хребтов (MORB), базальтами океанических островов (OIB), позднемезозойскими субщелочными базальтами Западно-Забайкальской рифтовой зоны (RB) и полем речной взвеси (RS). Такое общее положение гранитоидов на диаграмме позволяет сделать вывод о том, что в их образовании могло принимать участие как мантийное, так и коровое вещество. Мантийное вещество в виде базитовых расплавов при этом играет важную роль в качестве носителя тепловой энергии, за счет которой плавится материал коры, и непосредственно участвует в том или ином количестве в составе гибридных расплавов, при кристаллизации которых формировались гранитоидные ассоциации.

Таким образом, мезозойские гранитоиды региона — преимущественно гибридные образования смешанного корово-мантийного происхождения, с преобладанием в их составе корового вещества.

Нами рассмотрено отражение в петрохимическом составе коры выявленных по данным геохимической съемки металлогенических зон и ареалов, секущихся сейсмическими профилями. За основу наименований ареалов рассеяния металлов нами взята схема Е. В. Стрихи с соавторами [Стриха, 2012]. В связи с тем, что потенциальные аномальные металлогенические области оконтурены на основании преимущественно шлихового опробования, в их

пределах могут совмещаться ареалы рассеяния элементов, имеющих различные потенциальные источники.

Отрезок профиля Абакан—Тында—Татарский пролив пересекает четыре рудно-россыпных узла (см. рис. 6).

1. Совмещенный узел (Эльгаканский и Уркиминский) с Pb, Au, Mo минерализацией (ПК 510—522) пространственно приурочен к области сочленения Селенго-Станового террейна с зоной Желтулакского разлома. Это наиболее контрастная радиальная зона, выделенная в створе двух профилей. Верхняя кора в створе рудно-россыпного узла в разрезе профиля по комплексу данных представлена интенсивно базифицированными гнейсами и кристаллическими сланцами с выходами на поверхность гранодиоритов среднеюрского возраста. Интервал глубин 10—30 км сложен условно диоритовыми петрохимическими комплексами пород в той или иной степени насыщенными дайками основного состава. Нижняя кора выполнена двухслойным базитовым комплексом.

2. Желтулакский металлогенический узел с Mo, W, Fe, Au, Ag специализацией (ПК 525—534) приурочен к одноименному разлому в области его сочленения с Джугджуро-Становым террейном. Расположен в сложной геолого-структурной зоне, в которой могут быть совмещены металлогенические особенности различных разновременных рудоносных вещественно-породных комплексов. На поверхности территории отмечаются выходы юрских гранитоидов амананского и амуджиканского комплексов, подстилаемых на глубинах 10—15 км гранодиорит-диоритовым петрохимическим доменом с дайками долеритов. Ниже, в средней и нижней консолидированной коре, фиксируются блоки ультраосновных комплексов, разделенные блоком пород диоритового состава с дайками долеритов.

3. Иликан-Унахинский рудно-россыпной узел Джугджуро-Станового террейна с Pt, Ni, Mo, Au специализацией (ПК 550—559) недостаточно ярко выражен в геофизическом разрезе отрезка профи-

ля, несмотря на проявление в обнажениях верхнеюрско-раннемеловых гранитоидов. На поверхности отмечаются выходы преимущественно ниже- и среднеархейских метаморфических комплексов, а рудная минерализация района содержит минералы платиновой группы, что нехарактерно для архея региона. Источником сноса в данном случае могли служить незначительные выходы на поверхность рассматриваемой территории палеопротерозойских(?) габброидов. Вместе с тем в восточной части ареала рассеяния в створе ПК 554—559 на глубинах ~5—20 км фиксируется домен условно кварцевых диоритов, секущийся дайками долеритов (повышенное содержание железа в блоке). Данный комплекс должен выплавляться при воздействии на субстрат мафит-ультрамафитовых магм. Домены, соответствующие породам подобного состава, отмечаются на глубинах 37—43 и 29—33 км.

4. Унья-Бомский рудно-россыпной узел приурочен к области сочленения Джугджуро-Станового террейна и Монголо-Охотского складчатого пояса (ПК 576—582). В основании геофизического разреза и вплоть до глубин порядка 18 и 10 км фиксируются мощные высокоскоростные домены, по составу соответствующие мафит-ультрамафитовым комплексам. На уровне верхов средней—низов верхней консолидированной коры имеет место 8-километровый по мощности домен с породами среднего состава типа диоритов. И, наконец, верхняя кора венчается комплексом пород кислого состава, перекрытых осадочными и вулканогенно-осадочными образованиями Амуро-Зейской впадины.

В разрезе отрезка профиля может быть дополнительно выделена зона в створе ПК 567—574, по характеру распределения петрохимических доменов наиболее благоприятная для обнаружения в приповерхностных условиях коренных источников рудного сырья.

Отрезок профиля Тында—Амурзет пересекает четыре рудно-россыпных узла (см. рис. 7).

1. Совмещенный узел (Апсаканский и

Лапринский) с Fe, Mo, Ag, Au специализацией приурочен к территории Джугджуро-Станового террейна (створ ПК 2—8). В верхней коре до глубины 17 км залегает комплекс пород, представленный, согласно петрохимической модели (см. рис. 4, б), гранодиорит-диорит-сиенитовыми ассоциациями с дайками долеритов. Ниже комплекс подстилается доменом ультраосновных комплексов и, наконец, нижняя консолидированная кора представлена разновозрастными породами основного состава. Петрохимический разрез данного створа рудного узла достаточно близок к разрезу второго узла на профиле Абакан—Тында—Татарский пролив.

2. Могоктак-Талгинский рудно-россыпной узел с золотоурановой минерализацией совпадает с зоной Желтулакского разлома и пересекается профилем в районе ПК 10—12. Верхняя кора в районе выполнена гранитоидами, являющимися, судя по всему, источниками урановой минерализации в рудно-россыпном узле. На уровне средней коры (10—25 км) фиксируется край домена, сложенного габбро-диоритовым комплексом. Нижняя кора, как и в створе предыдущего узла, представлена многофазовым мафит-ультрамафитовым комплексом.

3. Совмещенный рудно-россыпной узел (Игакский и Тында-Улунгинский) с Mo, Cu, Ag, U минерализацией приурочен к северной части Аргуно-Мамынского массива (створ ПК 23—29). Металлоносный ареал также хорошо выражен на уровне верхней коры гранодиорит-диорит-сиенитовым комплексом, на уровне низов верхней—верхов средней коры в восточной части отрезка профиля отмечен домен ультраосновного петрохимического профиля, нижняя кора представлена разновозрастной ассоциацией пород основного состава.

4. Чагоянский рудно-россыпной узел (Au, Zn, Pb) установлен в пределах уже Лунцзянь-Селемжинского складчатого пояса на границе с Аргуно-Мамыньским массивом. На уровне верхней консолидированной коры отмечается сочленение гранодиорит-диорит-сиенитового ком-

плекса и сильнобазифицированного блока гнейсов и кристаллических сланцев. Последний блок подстилается петрохимическим комплексом пород среднего состава с дайками долеритов. Нижняя кора, как и на предыдущих разрезах, сложена разновозрастными мафит-ультрамафитовыми интрузиями.

Таким образом, несмотря на принадлежность рудно-россыпных узлов к различным структурно-тектоническим зонам (даже к различным террейнам), в створе геофизических профилей они отражаются в достаточно сходном распределении в геологическом разрезе блоков пород определенного петрохимического состава.

Нижняя консолидированная кора в створе рудных узлов всегда высокоскоростная и выполнена комплексами мафит-ультрамафитового состава; на уровне условно средней коры постоянно отмечаются домены пород среднего состава с тем или иным содержанием пород основного состава. И, наконец, верхняя кора в створе потенциально рудных объектов характеризуется наиболее изменчивыми вариациями скорости распространения продольных и поперечных сейсмических волн и сложена породам кислого состава в различной степени базифицированными.

Магнитное поле вдоль профилей сильно дифференцировано и определяется характером распределения железа в доменах до глубин 10—17 км. На профилях Абакан—Тында—Татарский пролив и Тында—Амурзет 1-й, 3-й, 5-й, а также 1-й и 2-й рудно-россыпные узлы соответственно выделяются по максимальным значениям интенсивности магнитного поля. Россыпи в пределах Желтулакского разлома и на сочленении Джугджуро-Станового террейна и Монголо-Охотского складчатого пояса, а также Аргуно-Мамынского массива с Лунцзянь-Селемжинским складчатым поясом в магнитном поле не проявлены. Последнее объясняется широким развитием в верхней коре кислых породных комплексов, осадочных пород впадины и некоторым смещением коренных источников металлов от линии профиля.

Таким образом, в створе отрезков сейсмических профилей отмечены совокупности петрохимических блоков пород, фиксирующие рудно-магматические процессы, протекавшие в земной коре в период киммерийской тектономагматической активизации и обеспечивающие образование, по крайней мере, рудно-россыпных узлов. В пределах Джугджуро-Станового террейна, пересеченного обоими профилями, близкие геофизические разрезы характерны для 3-го и 1-го узлов соответственно на профилях Абакан—Тында и Тында—Амурзет, а также для 4-го в области сочленения Аргунского массива с Лунцзянь-Селемжинским поясом.

Наиболее контрастная радиальная зона, выделенная в створе двух профилей, и судя по всему наиболее перспективная, отмечается в створе 1-го рудного узла (профиль Абакан—Тында—Татарский пролив) в пределах Селенго-Станового террейна.

Менее контрастны, с неопределенным характером обнаружения коренных рудных месторождений, 2-й и 3-й участки на профиле Абакан—Тында—Татарский пролив. Вместе с тем здесь же (ПК 567—574) по комплексу материалов может быть выделена новая перспективная область рудоотложения.

Проведенная работа по выделению перспективных на рудное сырье объектов, отраженных в геофизических параметрах геологической среды в створе сейсмических профилей, показала:

- значительную переработку древней консолидированной коры в результате неоднократно протекавших тектономагматических процессов, нашедших отражение в существенной дифференциации ее вещественного состава;

- преимущественно радиальную унаследованность в проявлении магматических процессов с формированием на уровне средней и верхней коры пород гибридного состава за счет различной степени смешения мантийных мафитовых расплавов с метаморфизованным древним веществом;

- контролируемость металлогенических

зон крупными региональными разломами — Становым, Джелтулакским, Северо-Тукурингским, Южно-Тукурингским, Селемжинским и др.

В заключение следует отметить, что для надежной диагностики погребенных коренных источников рудных объектов необходимы материалы более детального масштаба разрешения.

**Выводы.** 1. данные о скоростях распространения сейсмических волн как в консолидированной коре изучаемого региона, так и в пределах древних платформ, учитывая распределение основных петрохимических типов пород по глубинам, соотношения между рассчитанными содержаниями в выделенных доменах оксидов кремния, кальция и железа в сравнении с их средними содержаниями в основных типах докембрийских и интрузивных пород, а также согласно общим представлениям о закономерностях формирования земной коры от раннего архея по настоящее время, были построены петрохимические разрезы вдоль отрезков геофизических профилей.

Комплексный анализ материалов позволил выделить в разрезе консолидированной коры в створе отрезков геотраверсов четыре метаморфических комплекса пород, три плутонических кислых, три плутонических гипабиссальных среднего состава, два вулканоплутонических основного состава и один сложный вулканоплутонический ультраосновного состава различной степени щелочности.

### Список литературы

- Алейников А. Л., Немзоров Н. И., Халевин Н. И. Многоволновая сейсмика при изучении недр рудных районов. Москва: Наука, 1986. 145 с.
- Булин Н. К., Егоркин А. В. Использование многоволнового ГСЗ при мелкомасштабных прогнозных исследований на оруденение и алмазаносность. *Геология и геофизика*. 1993. Т. 34. № 9. С. 92—106.
- Булин Н. К., Солодилов Л. Н. Глубинный контроль эндогенного оруденения по сейсмическим данным. *Региональная геология и металлогения*. 1994. № 2. С. 26—41.
- Бучко И. В. Этапы ультрамафит-мафитового и габбро-анортозитового магматизма юго-восточного обрамления Северо-Азиатского кратона: Автореф. дис. ... д-ра геол.-мин. наук. Владивосток, 2010. 47 с.
- Бучко И. В., Сорокин А. А., Изох А. Э., Ларин А. М., Котов А. Б., Сальникова Е. Б., Великославинский С. Д., Сорокин А. П., Яковлева С. З.,

Выделенные петрохимические блоки отражают разновозрастные ассоциации пород, но сближенные по химическому составу либо в связи с формированием в близких геодинамических условиях и в определенных объемах пространства, либо в связи с преобладанием в блоке пород определенного состава. Кроме того, на те или иные метаморфические или гранитоидные ассоциации могут накладываться дайковые серии иного состава, что соответственно приводит к изменению петрохимии пород.

Особой пестротой химического состава отличаются сложные гибридные породные ассоциации на уровне средней коры, которые могут быть представлены парагенезисом гранодиоритов, диоритов, габбродиоритов, сиенитов, граносиенитов с разновеликими по объему скиалитами метакомплексов древнего субстрата.

2. Сопоставление состава и времени образования тех или иных пород, выходящих на поверхность, с анализом истории развития региона показало их достаточное соответствие и приемлемое отражение в петрохимических разрезах.

3. Исходя из определенных представлений об образовании золоторудной минерализации и состава петрохимических блоков, на сейсмических профилях были выделены области, отражающие процессы формирования рудоносности приповерхностных образований и вероятные зоны расположения коренных источников металлов.

- Плоткина Ю. В. Петрология раннемезозойского ультра мафит-мафитового Лучинского массива (юго-восточное обрамление Сибирского кратона). *Геология и геофизика*. 2008. Т. 49. № 8. С. 754—768.
- Гордиенко И. В., Климук В. С., Цюань Хень. Верхнеамурский вулcano-плутонический пояс Восточной Азии. *Геология и геофизика*. 2000. Т. 41. № 12. С. 1655—1669.
- Государственная геологическая карта РФ. 1:1000000. Лист М-50 (Борзя). Объяснительная записка. Санкт-Петербург: Изд-во ВСЕГЕИ, 2006.
- Государственная геологическая карта Российской Федерации. 1:1000000 (третье поколение). Сер. Дальневосточная. Лист 52. Санкт-Петербург: Изд-во ВСЕГЕИ, 2009.
- Гурьянов В. А., Роганов Г. В., Зелепугин В. Н., Розинов М. И., Салтыкова Т. Е. Изотопно-геохронологические исследования цирконов раннедокембрийских пород юго-восточной части Алдано-Станового щита: новые результаты, их геологическая интерпретация. *Тихоокеанская геология*. 2012. Т. 31. № 2. С. 3—21.
- Гусев Г. С., Хаин В. Е. О соотношениях Байкало-Витимского, Алдано-Станового и Монголо-Охотского террейнов (юг Средней Сибири). *Геотектоника*. 1995. № 5. С. 68—82.
- Дербек И. М., Чугаев А. В., Олейникова Т. И., Бортников Н. С. Геохимические и изотопные Sr-Nd-свидетельства надсубдукционного происхождения мезозойского магматизма Монголо-Охотского сектора Тихоокеанского складчатого пояса. *Докл. АН*. 2016. Т. 466. № 4. С. 462—466.
- Егоркин А. В. Многоволновые глубинные сейсмические исследования. *Геофизика*. 1996. № 4. С. 25—31.
- Егоркин А. В. Строение земной коры по сейсмическим геотраверсам. В кн.: *Глубинное строение территории СССР*. Москва: Наука, 1991. С. 118—135.
- Золотов Е. Е., Ракитов В. А. Структура литосферы Приамурья по данным МОВЗ-ГСЗ. *Региональная геология и металлогения*. 2000. № 10. С. 236—240.
- Карсаков Л. П., Чжао Чуньцзин, Горошко М. В., Роганов Г. В., Варнавский В. Г., Мишин Л. Ф., Малышев Ю. Ф., Лу Цзаосунь, Горнов П. Ю., Каплун В. Б., Манилов Ф. И., Подгорный В. Я., Романовский И. П., Шевченко Б. Ф., Родионов С. М., Дуань Жуйянь, Чжу Цунь, Кузнецов В. Е., Степашко А. А. Тектоника, глубинное строение, металлогения области сочленения Центрально-Азиатского и Тихоокеанского поясов. Объяснительная записка к Тектонической карте масштаба 1:1500000. Владивосток; Хабаровск: Изд-во ДВО РАН, 2005.
- Котов А. Б., Ларин А. М., Сальникова Е. Б., Великославинский С. Д., Глебовицкий В. А., Сороки А. А., Яковлева С. З., Анисимова А. И. Раннемеловые коллизионные гранитоиды древнестанового комплекса Селенгино-Станового супертеррейна Центрально-Азиатского подвижного пояса. *Докл. АН*. 2014. Т. 456. № 4. С. 451—556.
- Кузьмин М. И., Ярмолюк В. В., Кравчинский В. А. Фанерозойский внутриплитный магматизм Северной Азии: абсолютные палеогеографические реконструкции Африканской низкоскоростной мантийной провинции. *Геотектоника*. 2011. № 6. С. 3—23.
- Ларин А. М., Сорокин А. А., Котов А. Б., Сальникова Е. Б., Великославинский С. Д., Бучко И. В. Корреляция возрастных рубежей мезозойского магматизма северного и южного обрамлений восточного фланга Монголо-Охотского складчатого пояса: Материалы научного совещания «Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса от океана к континенту». Иркутск; ИЗК СО РАН, 2005. Т. 2. С. 19—22.
- Нагорных Т. В., Поплавская Л. Н. Локализация аномалий поля скоростных характеристик среды в регионе Приморья и Приамурья. В кн.: *Сейсмические наблюдения на Дальнем Востоке СССР*. Москва: Наука, 1989. С. 92—106.
- Носырев М. Ю. Аномалии скоростей в земной коре Приамурья и размещение золоторудной минерализации. *Тихоокеанская геология*. 2005. Т. 24. № 4. С. 53—61.
- Парфенов Л. М., Берзин Н. А., Ханчук А. И., Бадарч Г., Беличенко В. Г., Булгатов А. Н., Дриль С. И., Кириллова Г. Л., Кузьмин М. И., Ноклеберг У., Прокопьев А. В., Тимофеев В. Ф., Томуртоого О., Янь Х. Модель фор-

- мирования орогенных поясов Центральной и Северо-Восточной Азии. *Тихоокеанская геология*. 2003. Т. 22. № 6. С. 7—41.
- Парфенов Л. М., Нокленберг У. Дж., Ханчук А. И. Принципы составления и главные подразделения легенды геодинамической карты Северной и Центральной Азии, юга российского Дальнего Востока, Кореи и Японии. *Тихоокеанская геология*. 1998. Т. 17. № 6. С. 3—13.
- Петрографический кодекс России. Магматические, метаморфические, метасоматические, импактные образования. Санкт-Петербург: Изд-во ВСЕГЕИ, 2009. 194 с.
- Рыцк Ю. Е., Сальникова Е. Б., Ковач В. П., Котов А. Б., Ярмолюк В. В., Анисимова И. В., Яковлева С. З., Федосеенко А. М., Плоткина А. М. О возрасте аккреции Малхано-Кондинского террейна (Западное Забайкалье) к Сибирскому палеоконтиненту: результаты U-Pb-геохронологических исследований гранитоидов Малханского комплекса. *Докл. АН*. 2013. Т. 448. № 3. С. 318—323.
- Сальникова Е. Б., Ларин А. М., Котов А. Б., Сорокин А. А., Сорокин А. П., Великославинский С. Д., Яковлева С. З., Федосеенко А. М., Плоткина Ю. В. Токско-алгоминский магматический комплекс Джугджуро-Становой складчатой области: возраст и геодинамические обстановки формирования. *Докл. АН*. 2006. Т. 409. № 5. С. 652—657.
- Сорокин А. А. Геодинамическая эволюция восточного сегмента Монголо-Охотского складчатого пояса: Автореф. дис. ... д-ра геол.-мин. наук. Санкт-Петербург, 2005. 64 с.
- Сорокин А. А., Пономарчук В. А., Козырев С. К., Сорокин А. Р., Воропаева М. С. Новые изотопно-геохронологические данные для мезозойских магматических образований северо-восточной окраины Амурского супертеррейна. *Тихоокеанская геология*. 2003. Т. 22. № 2. С. 3—6.
- Степанов В. А., Мельников А. В., Моисеенко В. Г. Анализ продуктивности месторождений золота Приамурской провинции. *Докл. АН*. 2016. Т. 470. № 6. С. 696—700.
- Стриха В. Е. Мезозойские гранитоиды золотоносных районов Верхнего Приамурья. Монография. Ч. I. Благовещенск: АмГУ, 2012. 188 с.
- Чжан Хун, Чжао Чуньцзин, Яо Ичжэн, Цюань Хэн. Динамические основы мезозойского вулканизма в северной части Большого Хингана. *Тихоокеанская геология*. 2000. Т. 19. № 1. С. 109—117.
- Эйриш Л. В., Сорокин А. П. Коренные источники золотоносных россыпей Дальнего Востока России, степень их эродированности. *Тихоокеанская геология*. 2005. Т. 24. № 4. С. 62—75.
- Christensen N. I., Mooney W. D., 1995. Seismic velocity structure and composition of the continental crust: A global view. *J. Geophys. Res.* 100(B7), 9761—9788.
- Derbeko I. M., 2004. Early Cretaceous intrusive and volcanoplutonic complexes of the North-Greater Khingan zone (Russia) and their role in Au-Ag mineralization. In: *Metallogeny of the Pacific Northwest: Tectonics, Magmatism and Metallogeny of active continental margins*. Vladivostok: Dalnauka, P. 93—96.
- Kravchinsky V. A., Cogne J. P., Harbert W. P., Kitzmin M. I., 2002. Evolution of the Mongol-Okhotsk ocean as constrained by new palaeomagnetic data from the Mongol-Okhotsk suture zone, Siberia. *Gephys. J. Int.* 148, P. 34—57.

# Reflection of the history of consolidated Earth's crust formation of the Amur area gold-bearing province in its petrochemical composition (based on the data of seismic profiles Tynda—Amurset and Abakan—Tynda—Tatar channel)

© R. P. Gottikh, B. I. Pisotskiy, A. I. Chernenkova,  
S. S. Malinina, I. A. Biserkin, 2017

Petrochemical sections along the stretches of geophysical profiles have been plotted based on the data of velocities of seismic waves propagation in consolidated crust, distribution of the main petrochemical types of rocks along the depths, the correlation between calculated content of silicon, calcium and iron oxides in the allocated domains and general concepts on regularities of the Earth's crust formation.

Complex analysis of materials allows subdivision of four metamorphic complexes of rocks in the section of consolidated crust: three plutonic acidic ones, three plutonic hypabyssal ones of average composition, two volcanic-plutonic of basic composition and one complex volcanic-plutonic of ultrabasic composition with different degree of alkalinity. Petrochemical blocks subdivided reflect rock associations of different age but closely similar by chemical composition. Complex hybrid rock associations on the level of medium crust are characterized by special petrochemical diversity. Comparison of composition and time of formation of that or other exposed rocks and analysis of the history of the region development demonstrated their sufficient accordance and admissible reflection in petrochemical sections. According to definite concepts on formation of gold mineralization the areas were subdivided which reflect the processes of ore formation in subsurface products and probable zones of location of the native sources of metals.

**Key words:** geotravers, petrochemistry, seismic velocities, terrains.

## References

- Aleynikov A. L., Nemzorov N. I., Khalevin N. I., 1986. Multiwave seismic in the study of the interior of ore regions. Moscow: Nauka, 145 p. (in Russian).
- Bulin N. K., Yegorkin A. V., 1993. The use of a multiwave deep seismic sounding for small-scale predictive studies on mineralization and diamond content. *Geologiya i geofizika* 34(9), 92—106 (in Russian).
- Bulin N. K., Solodilov L. N., 1994. Deep control of endogenous mineralization according to seismic data. *Regionalnaya geologiya i metallogeniya* (2), 26—41 (in Russian).
- Buchko I. V., 2010. Stages of ultramafic-mafic and gabbro-anorthosite magmatism of the south-eastern frame of the North Asian craton: Abstract Dis. Dr. geol. and min. sci. Vladivostok, 47 p. (in Russian).
- Buchko I. V., Sorokin A. A., Sorokin A. P., Izokh A. E., Larin A. M., Kotov A. B., Sal'nikova E. B., Velikoslavinskii S. D., Yakovleva S. Z., Plotkina Yu. V., 2008. Petrology of the Early Mesozoic ultramafic-mafic Luchina massif (southeastern periphery of the Siberian craton). *Russian Geology and Geophysics* 49(8), 570—581 (in Russian). doi: 10.1016/j.rgg.2007.12.008.
- Gordiyenko I. V., Klimuk V. S., Quan Heng, 2000. The Upper Amur volcano-plutonic belt of East Asia. *Geologiya i geofizika* 41(12), 1655—1669 (in Russian).
- State Geological Map of the Russian Federation, 2006. 1:1000000. Sheet M-50 (Borzya). Explanatory letter. St. Petersburg: Publ. House VSEGEI (in Russian).
- State Geological Map of the Russian Federation, 2009. 1:1000000 (third generation). Ser. The Far East. Sheet 52. St. Petersburg: Publ. House VSEGEI (in Russian).
- Gury'anov V. A., Roganov G. V., Zelepugin V. N., Rozinov M. I., Saltykova T. E., 2012. Isotopic-geochronological studies of zircons from the Early Precambrian rocks of the southeastern

- Aldan-Stanovoy shield: New results and their geological interpretation *Russian Journal of Pacific Geology* 6(2), 97—113. doi: 10.1134/S1819714012020042.
- Gusev G. S., Khain V. E., 1995. On the ratios of the Baikal-Vitim, Aldan-Stanovoi and Mongolo-Okhotsk terranes (south of Central Siberia). *Geotektonika* (5), 68—82 (in Russian).
- Derbeko I. M., Chugaev A. V., Oleinikova T. I., Bortnikov N. S., 2016. Geochemical and Sr-Nd isotope evidences of the suprasubduction nature of mesozoic magmatism in the Mongol-Okhotsk Sector of the Pacific Fold Belt. *Doklady Earth Sciences* 466(2), 138—141 (in Russian). doi: 10.1134/S1028334X16020069.
- Yegorkin A. V., 1996. Multiwave deep seismic studies. *Geofizika* (4), 25—31 (in Russian).
- Yegorkin A. V., 1991. The structure of the earth's crust by seismic geotraverses. In: *The Deep Structure of the USSR*. Moscow: Nauka, P. 118—135 (in Russian).
- Zolotov E. E., Rakitov V. A., 2000. The structure of the Priamurye lithosphere according to the data of the MOVZ-GSZ. *Regionalnaya geologiya i metallogeniya* (10), 236—240 (in Russian).
- Karsakov L. P., Zhao Chunzin, Goroshko M. V., Roganov G. V., Varnavskiy V. G., Mishin L. F., Malyshev Yu. F., Lu Zaosun, Gornov P. Yu., Kaplun V. B., Manilov F. I., Podgornyy V. Ya., Romanovskiy I. P., Shevchenko B. F., Rodionov S. M., Duan Ruiyan, Zhu Tsun, Kuznetsov V. Ye., Stepashko A. A., 2005. Tectonics, deep structure, metallogeny of the articulation area of the Central Asian and Pacific belts. Explanatory note to the Tectonic map of scale 1:1500000. Vladivostok; Khabarovsk: Publ. House FEB RAS (in Russian).
- Kotov A. B., Larin A. M., Salnikova E. B., Velokoslavinskii S. D., Glebovitskii V. A., Yakovleva S. Z., Anisimova I. V., Sorokin A. A., 2014. Early Cretaceous collisional granitoids of the Drevnestanovoi complex from the Selenga-Stanovoi superterrane of the Central Asian mobile belt. *Doklady Earth Sciences* 456(2), 649—654 (in Russian). doi: 10.1134/S1028334X14060154.
- Kuzmin M. I., Yarmolyuk V. V., Kravchinskiy V. A., 2011. Phanerozoic within-plate magmatism of North Asia: Absolute paleogeographic reconstructions of the African large low-shear-velocity province. *Geotectonics* 45(6), 415—438 (in Russian).
- Larin A. M., Sorokin A. A., Kotov A. B., Salnikova Ye. B., Velikoslavinskiy S. D., Buchko I. V., 2005. Correlation of the age boundaries of the Mesozoic magmatism of the northern and southern flanks of the Mongolian-Okhotsk folded eastern flank Belts: Materials of the scientific meeting «Geodynamic evolution of the lithosphere of the Central Asian mobile belt from the ocean to the continent». Irkutsk: Publ. SB RAS, Vol. 2, P. 19—22 (in Russian).
- Nagornyykh T. V., Poplavskaya L. N., 1989. Localization of anomalies in the field of velocity characteristics of the medium in the Primorye and Amur region. In: *Seismic Observations in the Far East of the USSR*. Moscow: Nauka, P. 92—106 (in Russian).
- Nosyrev M. Yu., 2005. Velocity anomalies in the Earth's crust of Priamurye, and distribution of gold ore mineralization. *Tikhookeanskaya geologiya* 24(4), 53—61 (in Russian).
- Parfenov L. M., Berzin N. A., Khanchuk A. I., Bardarch G., Belichenko V. G., Bulgatov A. N., Dril S. I., Kirillova G. L., Kuzmin M. I., Noklenberg W. J., Prokopyev A. V., Timofeev V. F., Tomurtogoo O., Yang H., 2003. A model for the formation of orogenic belts in Central and Northeast Asia. *Tikhookeanskaya geologiya* 22(6), 7—41 (in Russian).
- Parfenov L. M., Noklenberg W. J., Khanchuk A. I., 1998. Principles of compilation and main divisions of the geodynamic map legend of North and Central Asia, the south of the Russian Far East, Korea and Japan. *Tikhookeanskaya geologiya* 17(6), 3—13 (in Russian).
- Petrographic Code of Russia. Magmatic, metamorphic, metasomatic, impact formation, 2009. St. Petersburg: Publ. House VSEGEI, 194 p. (in Russian).
- Rytsk E. Yu., Sal'nikova E. B., Kovach V. P., Kotov A. B., Anisimova I. V., Yakovleva S. Z., Fedoseenko A. M., Plotkina Yu. V., Yarmolyuk V. V., 2013. Timing of accretion of the Malkhan-Konda Terrane (Western Transbaikalian Region) to the Siberian Palecontinent: Results of U-Pb geochronological studies of the granitoids of the Malkhan Complex. *Doklady Earth Sci-*

- ences 448(1), 12—16 (in Russian). doi: 10.1134/S1028334X13010200.
- Glebovitsky V. A., Larin A. M., Sal'nikova E. B., Kotov A. B., Velikoslavinsky S. D., Yakovleva S. Z., Fedoseenko A. M., Anisimova I. V., Sorokin A. A., 2006. Early Cretaceous age of regional metamorphism of the Stanovoi Group in the Dzhugdzhur-Stanovoi foldbelt: Geodynamic implications. *Doklady Earth Sciences* 409(5), 727—731 (in Russian). doi: 10.1134/S1028334X06050102.
- Sorokin A. A., 2005. Geodynamic evolution of the eastern segment of the Mongolian-Okhotsk fold belt: Abstract Dis. Dr. geol. and min. sci. St. Petersburg, 64 p. (in Russian)
- Sorokin A. A., Ponomarchuk V. A., Kozyrev S. K., Sorokin A. P., Voropaeva M. S., 2003. New isotopic geochronological data for Mesozoic magmatic complexes of the North-Eastern margin of the Amur superterrane. *Tikhookeanskaya geologiya* 22(2), 3—6 (in Russian).
- Stepanov V. A., Melnikov A. V., Moiseenko V. G., 2016. Analysis of the productivity of gold deposits of Amur province. *Doklady Earth Sciences* 470(2), 1027—1030 (in Russian). doi: 10.1134/S1028334X16100251.
- Strikha V. E., 2012. Mesozoic granitoids of the gold-bearing areas of the Upper Amur region. Monograph. Pt. I. Blagoveshchensk: AmSU, 188 p. (in Russian).
- Zhang Hong, Zhao Chunjing, Yao Yizheng, Quan Heng, 2000. Dynamic bases of Mesozoic volcanism in the northern part of the Great Khingan. *Tikhookeanskaya geologiya* 19(1), 109—117 (in Russian).
- Eirish L. V., Sorokin A. P., 2005. The primary sources of gold placers in the Russian Far East, and the degree of their erosion. *Tikhookeanskaya geologiya* 24(4), 62—75 (in Russian).
- Christensen N. I., Mooney W. D., 1995. Seismic velocity structure and composition of the continental crust: A global view. *J. Geophys. Res.* 100(B7), 9761—9788.
- Derbeko I. M., 2004. Early Cretaceous intrusive and volcanoplutonic complexes of the North-Greater Khingan zone (Russia) and their role in Au-Ag mineralization. In: *Metallogeny of the Pacific Northwest: Tectonics, Magmatism and Metallogeny of active continental margins*. Vladivostok: Dalnauka, P. 93—96.
- Kravchinsky V. A., Cogne J. P., Harbert W. P., Kitzevskiy M. I., 2002. Evolution of the Mongol-Okhotsk ocean as constrained by new palaeomagnetic data from the Mongol-Okhotsk suture zone, Siberis. *Gephys. J. Int.* 148, 34—57.