

О КОРРЕЛЯЦИИ ЮРСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ ИРКУТСКОГО БАСЕЙНА И ЮГО-ЗАПАДНОГО ЗАБАЙКАЛЬЯ ПО ДАННЫМ ПАЛЕОБОТАНИЧЕСКИХ И ГЕОХРОНОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

А.В. Аржанникова¹, А.О. Фролов¹, С.Г. Аржанников¹, Е.И. Демонтерова¹,
А.В. Иванов¹, М. Жоливе², М.Н. Рубцова¹, А.Л. Дорожко³

¹Институт земной коры СО РАН, 664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 128, Россия

²Laboratoire Géosciences Rennes, CNRS-UMR 6118, Université Rennes 1, Rennes, France

³Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН, 101000, Москва, Уланский пер., 13, стр. 2, Россия

Южное обрамление Сибирской платформы в юрское время развивалось в активной тектонической обстановке, связанной с процессами закрытия Монголо-Охотского океана. Субдукционные и последующие коллизионные события привели к формированию складчатых деформаций на границе с платформой. Важным моментом для понимания палеогеографической обстановки в зоне закрытия Монголо-Охотского океана является решение вопроса об определении возраста и корреляции юрских отложений присаянской свиты Иркутского бассейна и тугнуйской свиты Тугнуйской впадины Юго-Западного Забайкалья. В работе представлены результаты изучения разрезов и палеоботанических исследований осадочных отложений вышеуказанных свит и $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ датирования подстилающих тугнуйскую свиту вулканитов верхней подсвиты ичетуйской свиты с целью уточнения их возраста и возможности корреляции. В результате определено, что тугнуйская свита, формировавшаяся в конце средней—начале поздней юры, не является одновозрастной с присаянской, верхняя часть которой накапливалась в начале средней юры. Продатированный $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ методом образец вулканита верхней подсвиты ичетуйской свиты показал возраст 167.7 ± 1.2 млн лет, соответствующий концу первой половины средней юры (байос—бат). Анализ палеогеографических данных, основанных на исследовании фациального и вещественного состава осадков, изучении источников сноса по изотопно-геохимическим Sm-Nd данным и U-Pb датированию детритовых цирконов из отложений юга Иркутского амфитеатра, показал, что после накопления присаянской свиты произошла активизация рельефообразующих процессов на южной границе Сибирской платформы. Полученные нами геохронологические данные показали, что активные тектонические деформации в Юго-Западном Забайкалье, маркируемые накоплением в Тугнуйской впадине вулканогенно-осадочной ичетуйской свиты, также приходится на среднеюрское время. Верхняя же часть осадочных отложений Тугнуйской впадины формировалась в конце средней—поздней юре в спокойной тектонической обстановке с выравненным рельефом и озерно-болотными условиями осадконакопления.

Юрские осадочные отложения, палеоботанические исследования, геохронологическое датирование, Забайкалье, Иркутский бассейн.

JURASSIC SEDIMENTS IN THE IRKUT BASIN AND SOUTHWESTERN TRANSBAIKALIA: CORRELATIONS BASED ON PALEOBOTANICAL AND GEOCHRONOLOGICAL DATA

A.V. Arzhannikova, A.O. Frolov, S.G. Arzhannikov, E.I. Demonterova, A.V. Ivanov,
M. Jolivet, M.N. Rubtsova, and A.L. Dorozhko

The Jurassic growth of mountain ranges along the southern edge of the Siberian platform occurred in an active tectonic setting related to the closure of the Mongol–Okhotsk Ocean. The oceanic subduction and subsequent continent collision events induced compressive deformations at the platform boundary. Understanding the paleogeography related to the Mesozoic closure of the Mongol–Okhotsk Ocean requires dating and correlation of the Jurassic Prisayan Formation in the Irkut basin and Tugnuyskaya Formation in southwestern Transbaikalia. This work presents structural and paleobotanic results within both formations. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating of underlying volcanics from the upper member of the Ichetuyskaya Formation is used to refine the age of the sediment series and provide probable correlation. The results show that the Tugnuyskaya Formation initiated at the end of the Middle Jurassic—beginning of the Late Jurassic and was not coeval with the Prisayan Formation, whose upper fine-grained members were deposited in the early Middle Jurassic. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating of volcanics from the upper member of the Ichetuyskaya Formation yielded a Middle Jurassic age of 167.7 ± 1.2 Ma (Bajocian to Bathonian). The paleogeographic data analysis based on facies and mineralogical composition of sediments and on a study of source areas from Sm–Nd data and the U–Pb ages of detrital zircon from the deposits in the southern Irkut basin indicates that the deposition of the Prisayan Formation was followed by the intensification of relief building along the southern edge of the Siberian Platform. Our geochronological data show that active

tectonic deformations in southwestern Transbaikalia evidenced in the volcanoclastic Ichetuyskaya Formation in the Tugny basin also occurred during the Middle Jurassic. The uppermost sediments of the Tugny basin were deposited at the end of the Middle Jurassic–Late Jurassic in a quiet tectonic setting with low relief and lacustrine-boggy depositional environments.

Jurassic sediments, paleobotanic studies, geochronology, Transbaikalia, Irkut basin

ВВЕДЕНИЕ

Рельеф Забайкалья представлен серией низкогорных хребтов и грабен северо-восточного простирания. Грабены заполнены осадками, возраст которых варьирует от ранней юры до раннего мела. Определение возраста осадков базируется на палеоботанических и палеонтологических данных и редких К-Аг и Rb-Sr датировках вулканогенно-осадочных толщ. Нижнесреднеюрские осадки также залегают на юге Иркутского амфитеатра — южном выступе Сибирской платформы и представлены черемховской, присаянской и кудинской свитами (снизу вверх). Свиты сложены преимущественно песчаниками, алевролитами, аргиллитами и углистыми сланцами с горизонтами углей. Укрупнение осадков до конгломератов происходит по мере их омоложения и при приближении к границам платформы. Верхняя часть отложений Иркутского амфитеатра (нижнесреднеюрские присаянская и кудинская свиты) сопоставлялись с ичетуйской и тугнуйской свитами Тугнуйской впадины Юго-Западного Забайкалья [Скобло и др., 2001]. Ичетуйская свита представлена осадочно-вулканогенными отложениями (с прослоями конгломератов, песчаников и алевролитов) и залегает на базальной для Тугнуйской впадины березовской свите, сформированной галечно-валунными и крупногалечными конгломератами с прослоями песчаников, алевролитов и редко аргиллитов. Тугнуйская свита сложена в основном мелкозернистыми осадками — песчаниками, алевролитами и каменными углями, с редкими прослоями конгломератов. При этом в момент накопления осадочных отложений присаянской и кудинской свит Иркутского амфитеатра Юго-Западное Забайкалье должно было развиваться в более активной тектонической обстановке, находясь ближе к зоне закрытия Монголо-Охотского океана, для которой должны быть характерны скорее грубообломочные осадки, чем тонкозернистые угленосные отложения, типичные для тугнуйской свиты. Время закрытия океана до сих пор остается дискуссионным — по разным данным оно датируется для Забайкалья от ранней юры до раннего мела [Yin, Nie, 1996; Кузьмин, Кравчинский, 1996; Davis et al., 1998; Зорин и др., 1998; Гордиенко, Кузьмин, 1999; Zorin, 1999; Kravchinsky et al., 2002; Метелкин и др., 2007; Metelkin et al., 2010; Van der Voo et al., 2015]. Осадки на юге Иркутского амфитеатра и в грабенах Забайкалья формировались близко по времени с закрытием Монголо-Охотского океана. Вопрос о том, когда происходила связанная с закрытием океана тектономагматическая активизация в Забайкалье и как она проявилась в осадках юга Иркутского амфитеатра, является важным в уточнении юрской палеогеографической обстановки в южном обрамлении Сибирской платформы. Одним из путей решения данного вопроса является определение возраста и корреляции юрских осадков Забайкалья и Иркутского амфитеатра. Нами были проведены детальные палеоботанические исследования осадочных отложений верхней части присаянской свиты (суховская подсвита) Иркутского осадочного бассейна и тугнуйской свиты Тугнуйской впадины Забайкалья, а также геохронологические исследования вулканитов ичетуйской свиты с целью уточнения их возраста и возможности корреляции (рис. 1).

ИСТОРИЯ КОРРЕЛЯЦИИ ЮРСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ ИРКУТСКОГО БАСЕЙНА И ЗАБАЙКАЛЬЯ

Вопрос о том, насколько геологическое развитие Иркутского амфитеатра протекало независимо от Забайкалья, давно ставился исследователями, изучавшими мезозойские отложения юга Восточной Сибири [Флоренсов, 1958]. При этом датирование и сопоставление разрезов континентальных отложений юры и мела вызывают затруднения, поскольку они содержат «сравнительно однообразную мезозойскую флору, основные элементы которой существовали в Сибири, начиная с рэта до конца раннего мела и, следовательно, не могут служить целям дробного стратиграфического расчленения» [Флоренсов, 1958, с. 21]. Попытки сравнения при этом все же предпринимались. Н.А. Флоренсов [1958] обращал внимание на то, что мезозойские впадины Забайкалья и южная часть Иркутского бассейна развивались одновременно и сходным образом в структурном отношении. В работе [Комаров и др., 1965] указывается на то, что найденные отпечатки насекомых в вулканогенно-осадочном горизонте (ичетульская свита) Тугнуйской впадины Юго-Западного Забайкалья сопоставимы с таковыми черемховской свиты Иркутского амфитеатра, что свидетельствует о возможном раннесреднеюрском возрасте ичетуйской свиты. В дальнейшем данные о возрасте ичетуйской свиты пересматривались [Сребродольская, Козубо-

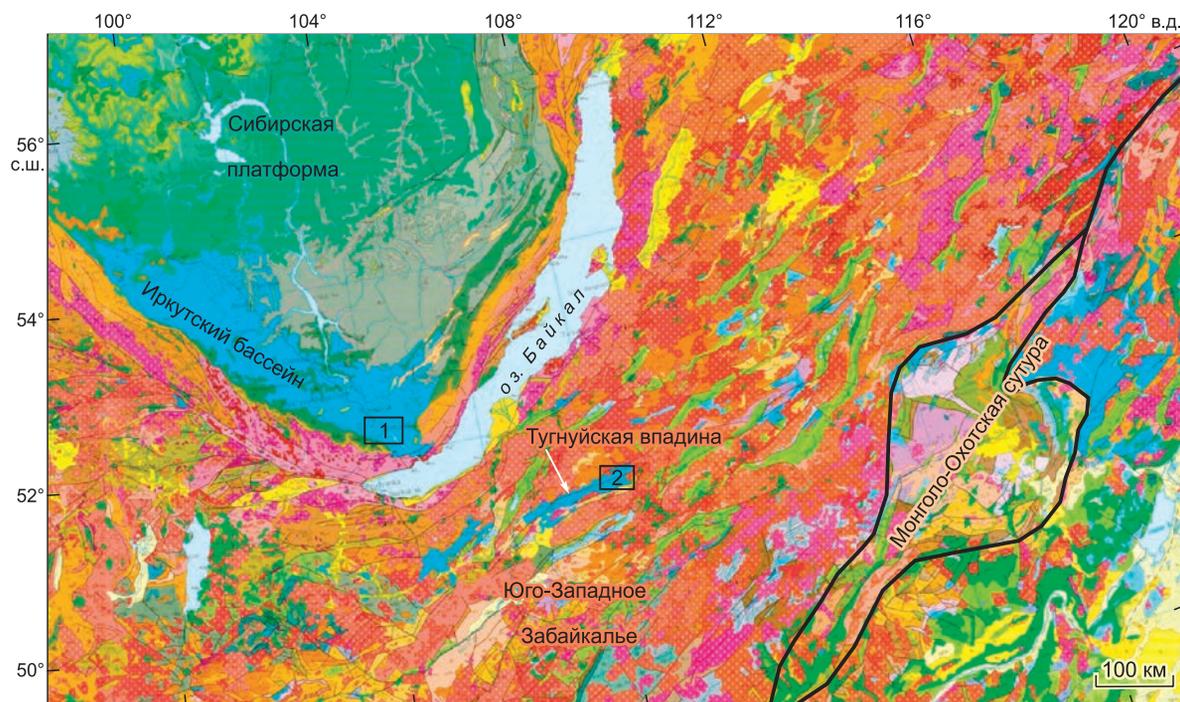


Рис. 1. Схема расположения районов исследования на геологической карте [Geological map..., 2008], с дополнениями.

Районы работ выделены прямоугольниками с цифрами: 1 — в Иркутском бассейне, 2 — в Тугнуйской впадине.

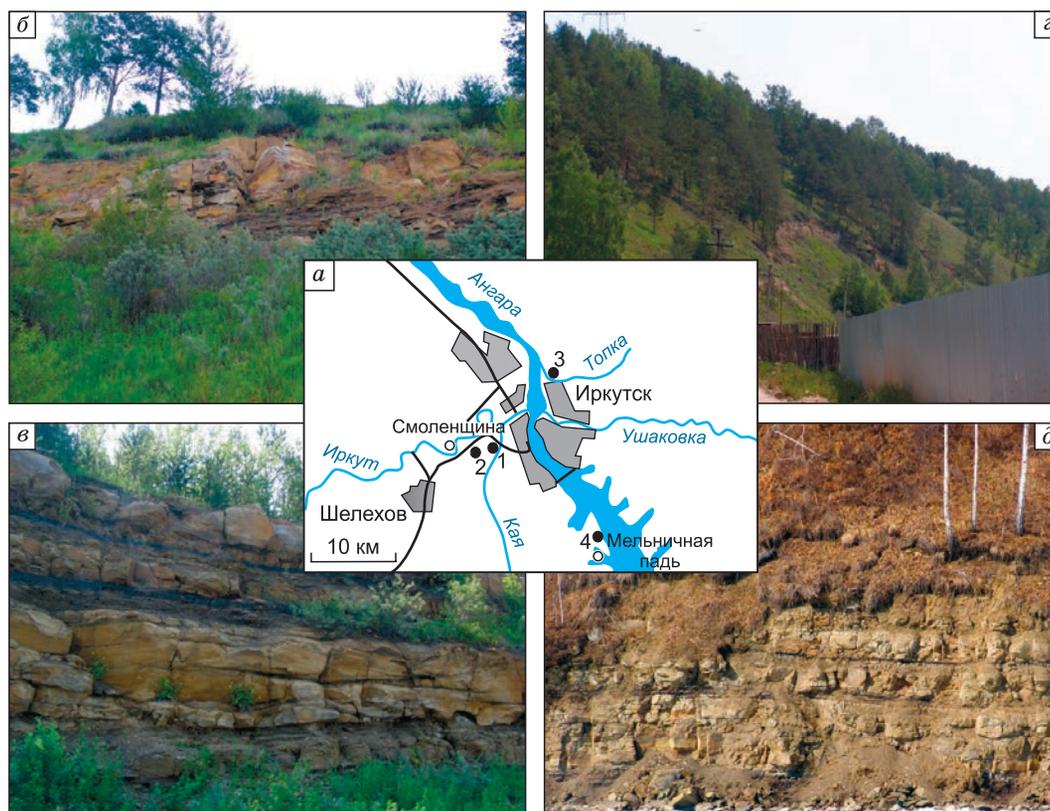


Рис. 2. Схема расположения (а) и фотографии изучаемых обнажений (б—д) суховской подсвиты присаянской свиты.

1 — разрез на Синюшиной горе (г. Иркутск) (б), 2 — разрез возле с. Смоленщина (в), 3 — разрез в устье р. Топка (г), 4 — разрез к северу от пос. Мельничная падь (д).

ва, 1976]: в разных местах свиты были найдены остатки растений однотипных комплексов, характерных для поздней юры—раннего мела. Однако в более поздней работе [Скобло и др., 2001] в таблице межрегиональной корреляции ичетуйская свита датирована раннесреднеюрским возрастом и сопоставлена с присаянской свитой Иркутского амфитеатра. Вышележащая тугнуйская свита по растительным остаткам, типичным для средней юры, сопоставлялась с верхами присаянской (суховская подсвита) и кудинской свитами Иркутского бассейна [Скобло и др., 2001, табл. 48]. Изотопное датирование нескольких образцов вулканитов ичетуйской свиты в пределах Тугнуйской впадины К-Аг методом дает возрасты 145 ± 3 , 150 ± 5 млн лет [Иванов и др., 1995], 154.5 ± 3.7 млн лет [Гордиенко и др., 1997], а Rb-Sr методом — 158 ± 8 млн лет [Гордиенко и др., 1997], что соответствует поздней юре. Приведенные данные геохронологического датирования значительно омолаживают как возраст ичетуйской свиты, так и, соответственно, всех вышележащих свит, не позволяя коррелировать ни одну из них с отложениями Иркутского бассейна. Однако использование этих данных проблематично, поскольку в публикациях отсутствуют привязки образцов и неясно, для какой части ичетуйской свиты получены датировки. К тому же К-Аг метод не позволяет контролировать ни потери радиогенного аргона, ни возможное перераспределение калия в образце, что может приводить как к аномальному омоложению, так и удревнению полученного для образца возраста. Современное развитие геохронологических методов позволяет получать более точные данные, основанные на Ar-Ag анализе методом ступенчатого нагрева, дающего внутренний критерий контроля — возраст плато. Ниже представлен материал, который мы получили при изучении осадочных отложений верхней части присаянской свиты (суховская подсвита) Иркутского бассейна и тугнуйской свиты Тугнуйской впадины с данными об их возрасте на основе палеоботанических исследований и Ar-Ag датирования подстилающих тугнуйскую свиту вулканитов ичетуйской свиты.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Изученные 890 штучков с растительными остатками, представленными отпечатками и фитолеймами, происходят из разрезов присаянской и тугнуйской свит. Таксономический состав ископаемых растений и описание опробованных разрезов приведено ниже. Растительные остатки изучались под стереомикроскопом МБС-9 и фотографировались с помощью цифровой фотокамеры Olympus SP-510UZ. Химическая обработка образцов осуществлялась с использованием оборудования Центра коллективного пользования «Геодинамика и геохронология» ИЗК СО РАН (г. Иркутск). Методика обработки листовых кутикул включала в себя механическое отделение их от породы, мацерацию по стандартной методике в смеси Шульце ($\text{HNO}_3 + \text{KClO}_3$). Далее они обрабатывались раствором аммиака (10 %) и заключались в среде для приготовления гистологических срезов Bio Mount. Микропрепараты изучались в проходящем свете и фотографировались с использованием светового микроскопа Olympus BX41TF, оснащенного цифровой фотокамерой Olympus DP12-2. При описании кутикул эпидермы ископаемых листьев применялась терминология, разработанная В.А. Самылиной [1972]. Всего изготовлено 114 микропрепаратов с развертками фитолейм листьев. Образцы хранятся в лаборатории кайнозооя ИЗК СО РАН, коллекция № Сг-2008, Сг-2009, См-2008, См-2009, Ст-2009, Ст-2010, Тп-2011, Туг-2014.

Ar-Ag датирование вулканитов ичетуйской свиты проводилось на оборудовании Центра коллективного пользования «Геодинамика и геохронология» ИЗК СО РАН с помощью масс-спектрометрического комплекса ARGUS VI. Возраст рассчитан относительно стандарта BERN4M с возрастом 18.885 ± 0.097 млн лет, который позволяет согласовать напрямую данные Ar-Ag и U-Pb датирования [Ivanov et al., 2017].

РАЗРЕЗЫ ПРИСАЯНСКОЙ СВИТЫ (СУХОВСКАЯ ПОДСВИТА) ИРКУТСКОГО БАССЕЙНА

Присаянская свита согласно залегает на черемховской промышленно-угленосной свите и несогласно перекрывается кудинской свитой. Присаянская свита развита преимущественно в южной и юго-восточной частях Иркутского бассейна и достигает мощности 150—250 м в Прииркутской, Присаянской и Прибайкальской впадинах. Нижняя граница свиты проводится по подошве пачки ритмично переслаивающихся песчаников, гравелитов, конгломератов, алевролитов и в достаточной степени условная [Болдырев, 1999]. В составе присаянской свиты выделяются нижняя — иданская и верхняя — суховская подсвиты [Решения..., 1981; Скобло и др., 2001; Акулов и др., 2015]. В иданской подсвите преобладают крупнозернистые, а иногда и гравелистые песчаники при подчиненном значении мелко- и тонкозернистых песчаников, а также алевролитов. В основании подсвиты на отдельных участках залегают прослои конгломератов и гравелитов, в верхней части — песчаники мелко- и тонкозернистые, также характерно появление прослоев угля. Мощность подсвиты изменяется от 50 до 70 м. Суховская подсвита сохранилась от размытия лишь в Прииркутской впадине [Юрские континентальные..., 1967]. Подсвиту слагают мелко- и тонкозернистые песчаники, реже наблюдаются алевролиты и крупнозернистые песчаники. Типично значительное обогащение пород углистым материалом и наличие прослоев угля. Мощность подсвиты около 50 м. Нижняя ее граница не всегда отчетлива. Нами проведены исследования верхней (су-

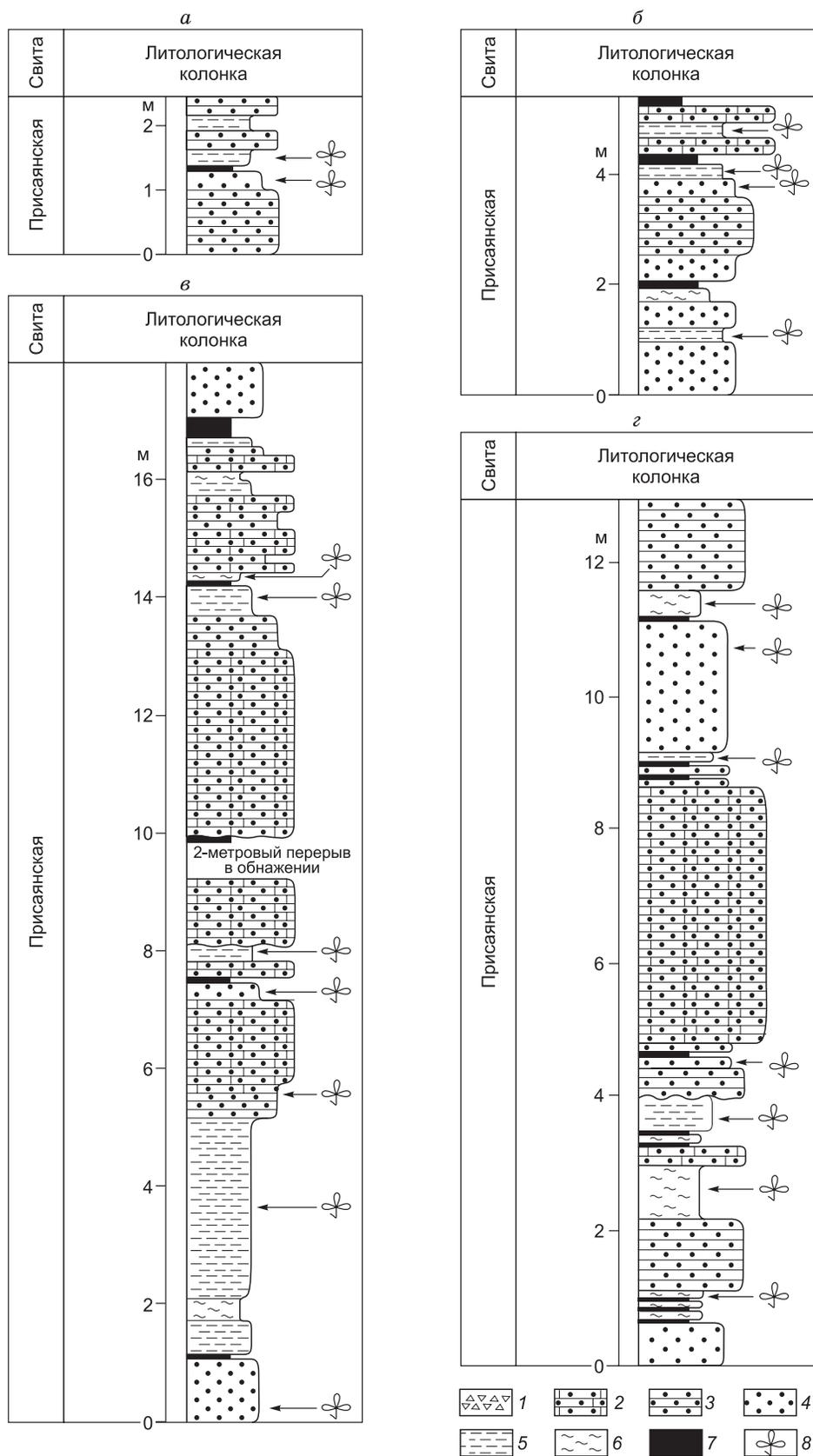


Рис. 3. Разрезы суховской подсвиты присаянской свиты:

а — разрез на Синюшиной горе, *б* — разрез возле с. Смоленщина, *в* — разрез в устье р. Топка, *г* — разрез к северу от пос. Мельничная падь. 1 — гравелит, 2 — грубозернистый песчаник, 3 — среднезернистый песчаник, 4 — мелкозернистый песчаник, 5 — алевролит, 6 — аргиллит, 7 — уголь, 8 — макроостатки растений.

ховской) подсветы присаянской свиты в ее естественных выходах на территории Прииркутской впадины. Всего задокументировано 4 обнажения (рис. 2), описания которых представлены ниже.

На рис. 3, а показан разрез суховской подсветы присаянской свиты, вскрытый на Синюшиной горе в г. Иркутск ($52^{\circ}15.888'$ с.ш., $104^{\circ}11.188'$ в.д., см. рис. 2, а, б) и достигающий 2.4-метровой мощности. В нижней части разреза (интервал 0—1.3 м) преобладают серые мелко- и среднезернистые песчаники. Верхняя часть разреза (интервал 1.3—2.4 м) сложена ритмично-слоистыми желтовато-серыми среднезернистыми песчаниками и алевролитами, отмечена единственный маломощный (0.07 м) прослой угля. Изменения условий седиментации, выраженные сменой осадков, формируемых слабыми течениями воды (мелко- и среднезернистые песчаники), на мелкослоистые песчано-глинистые отложения с прослоями углей, формирующихся в заболоченных участках, покрытых растительностью, характерны для комплекса пойменных отложений [Ботвинкина, 1965]. Среди растительных остатков установлены папоротники *Coniopteris murrayana* (Brongn.) Brongn., *Cladophlebis nebbensis* (Brongn.) Nath., *Cl. williamsonii* Brongn., лептострбовые *Czekanowskia* ex gr. *rigida* Heer, *Phoenicopsis angustifolia* Heer, *Ph. samylinae* Kiritch. et Moskv., *Ph. irkutensis* Dolud. et Rasskaz. и хвойные *Pityophyllum* ex gr. *nordenskioldii* (Heer) Nath.

В придорожном карьере у с. Смоленщина ($52^{\circ}15.006'$ с.ш., $104^{\circ}9.305'$ в.д., см. рис. 2, а, в) мощностью 5.4 м, протяженностью 400 м вскрыта суховская подсвета присаянской свиты (см. рис. 3, б). Разрез имеет ритмичное строение. Основания ритмов представлены кварц-полевошпатовыми крупно- и среднезернистыми желтоватыми песчаниками, сменяющимися вверх по разрезу тонкослоистыми, мелкозернистыми серыми песчаниками, алевролитами и аргиллитами с маломощными (0.1—0.3 м) прослоями угля. Осадки данного разреза, вероятно, также принадлежат комплексу пойменных отложений, характерных для периодически затапливаемых участков речных долин [Ботвинкина, 1965]. Среди растительных остатков установлены мхи *Hepaticites arcuatus* (L. et H.) Harris, папоротники *Coniopteris murrayana* (Brongn.) Brongn., *C. maakiana* (Heer) Pryn. emend. Kiritch. et Trav., *C. spectabilis* Brick, *Cladophlebis williamsonii* Brongn., *Cl. haiburnensis* (L. et H.) Brongn., *Cl. cf. nebbensis* (Brongn.) Nath., *Raphaelia diamensis* Sew., гинкговые *Sphenobaiera* ex gr. *czekanowskiana* (Heer) Flor., *Ginkgoites* ex gr. *sibirica* (Heer) Sew., лептострбовые *Czekanowskia* ex gr. *rigida* Heer, *Phoenicopsis angustifolia* Heer, *Ph. cf. mogutchevae* Kiritch. et Trav., *Ph. cognata* Kiritch., хвойные *Pityophyllum* ex gr. *nordenskioldii* (Heer) Nath. и голосеменные неопределенного систематического положения *Stenorachis* (?) *clavata* Nath.

В обнажении суховской подсветы присаянской свиты на правом берегу р. Ангара напротив устья р. Топка ($52^{\circ}21.289'$ с.ш., $104^{\circ}17.282'$ в.д., см. рис. 2, а, г) вскрыт 18-метровый разрез, имеющий ритмичное строение (см. рис. 3, в). Основания ритмов представлены желтоватыми кварц-полевошпатовыми крупно- и среднезернистыми песчаниками, сменяющимися вверх по разрезу тонкослоистыми серыми алевролитами и аргиллитами с маломощными (0.1—0.3 м) прослоями угля. Среди растительных остатков установлены папоротники *Coniopteris murrayana* (Brongn.) Brongn., *C. maakiana* (Heer) Pryn. emend. Kiritch. et Trav., *Cladophlebis williamsonii* Brongn., *Cl. haiburnensis* (L. et H.) Sew., лептострбовые *Czekanowskia* ex gr. *rigida* Heer, *Phoenicopsis* ex gr. *angustifolia* Heer, *Phoenicopsis* ex gr. *speciosa* Heer, хвойные *Pityophyllum* ex gr. *nordenskioldii* (Heer) Nath.

Обнажение на левом берегу Иркутского водохранилища севернее пос. Мельничная падь ($52^{\circ}11.195'$ с.ш., $104^{\circ}23.459'$ в.д., см. рис. 2, а, д) вскрывает суховскую подсвету присаянской свиты (см. рис. 3, г). Мощность вскрытых отложений составляет 13 м. Разрез представлен переслаивающимися белесо-желтыми крупно-, средне- и мелкозернистыми песчаниками с прослоями тонкослоистых серых алевролитов и аргиллитов и маломощными (от первых сантиметров до 0.6 м) прослоями угля. Формирование данной толщи, как и в предыдущих разрезах, характерно для периодически затапливаемых пойменных участков долины [Ботвинкина, 1965]. Среди растительных остатков установлены плауновидные *Lycopodites baikalensis* A. Frol., хвощевые *Equisetites* sp., папоротники *Hausmannia crenata* (Nath.) Maell., *Coniopteris maakiana* (Heer) Pryn. emend. Kirich. et Trav., *Cladophlebis nebbensis* (Brongn.) Nath., *Cl. williamsonii* Brongn., *Cl. haiburnensis* (L. et H.) Sew., *Cl. argutula* (Heer) Font., *Cl. suluctensis* Brick, *Cl. kanskiensis* Kost., *Raphaelia diamensis* Sew., *R. tapkensis* (Heer) Pryn. emend. Kost., гинкговые *Sphenobaiera* ex gr. *czekanowskiana* (Heer) Florin, *Pseudotorellia* cf. *ensiformis* (Heer) Dolud., *P. cf. paradoxa* Dolud., лептострбовые *Czekanowskia* ex gr. *rigida* Heer, *Phoenicopsis angustifolia* Heer, хвойные *Elatocladus manchuricus* (Yok.) Yabe, *Taxocladus ketovae* Tesl., *Pityophyllum* ex gr. *nordenskioldii* (Heer) Nath. и голосеменные неясного систематического положения *Carpolithes cinctus* Nath., *Carpolithes heeri* Tur.-Ket., *Carpolithes* sp. [Фролов, Машук, 2016].

РАЗРЕЗЫ ТУГНУЙСКОЙ СВИТЫ ТУГНУЙСКОЙ ВПАДИНЫ ЗАБАЙКАЛЬЯ

Осадочный разрез Тугнуйской впадины представлен в нижней части базальной березовской свитой, сложенной в основном конгломератами и маркирующей начальный этап формирования впадины в условиях расчлененного рельефа. Выше согласно залегает ичетуйская осадочно-вулканогенная свита, представленная трахибазальтами, трахидацитами, трахиандезитами и их туфами с прослоями конгломе-

ратов, которая также формировалась в активной тектономагматической обстановке. На ичетуйской местности с размывом залегает тугнуйская свита, сложенная в основном мелкозернистыми теригенными осадками — ритмичным чередованием песчаников, алевролитов, аргиллитов, реже конгломератов, с пластами и линзами каменных углей. Смена условий осадконакопления при переходе от ичетуйской к тугнуйской свите свидетельствует о стабилизации тектонических процессов в этот период и нивелировании расчлененного рельефа, что создало условия для накопления толщи озерно-болотных угленосных отложений тугнуйской свиты. Выше залегают конгломераты, гравелиты и песчаники галгатайской свиты, маркирующие новую фазу рельефообразующих процессов. И завершает мезозойский разрез Тугнуйской впадины гусиноозерская серия, сложенная конгломератами, гравелитами, песчаниками, алевролитами и аргиллитами с пропластками бурых углей.

По данным [Колесников, 1964], отложения тугнуйской свиты делятся на три толщи (снизу вверх): 1 — песчано-конгломератовую, 2 — нижнюю угленосную и 3 — верхнюю безугольную. Угленосная толща включает четыре группы промышленных пластов гумусового каменного угля, более или менее выдержанных по простиранию, хотя сильно меняющихся по мощности. Максимальная мощность тугнуйской свиты по скважинам 500 м. Нами проведены исследования угленосной толщи тугнуйской свиты на Тугнуйском угольном месторождении ($51^{\circ}18.690'$ с.ш., $108^{\circ}31.426'$ в.д.). Всего задокументировано восемь обнажений (рис. 4), пять из которых (обнажения 2—6) объединены в один непрерывный 50-метровый разрез. Документация разрезов и их краткое описание представлены ниже.

Самый нижний 12-метровый разрез изучаемых отложений (обнажение 1, рис. 5, а) состоит из переслаивающихся светло-серых среднезернистых хорошо окатанных песчаников с темно-серыми алевролитами, рыжеватыми крупнозернистыми до гравелитовых песчаниками и прослоями углей. В пачке алевролитов обнаружены отпечатки *Heilungia* sp., *Ginkgoites* ex gr. *sibirica* (Heer) Sew. Отложения формировались в условиях ритмичной смены руслового (хорошо окатанные сортированные песчаники и гравелиты) и пойменного (алевролиты с остатками наземных растений и прослои углей) режимов реки с невысокой энергией потока.

50-метровый разрез вышележащих отложений вскрыт в обнажениях 2—6 (см. рис. 5, б). Нижняя пачка 1 (интервал 0—11.4 м) сложена серыми сортированными крупнозернистыми песчаниками и гравелитами (с хорошо окатанными обломками) с прослоями алевролитов, в которых обнаружены остатки папоротников *Cl. williamsonii* Brongn., *Cladophlebis* sp. и хвойных *Schizolepis* sp. Выше (интервал 11.4—40 м) залегает пачка 2, которая представлена светло-серыми алевролитами, ритмично переслаивающимися с угольными пластами разной мощности. Обильные растительные остатки из пачки 2 представлены папоротниками *Cladophlebis aldanensis* Vachr., *Cl. williamsonii* Brongn., лептострбовыми *Czekanowskia* ex gr. *rigida* Heer, хвойными *Pityospermum* sp., *Pityophyllum* ex gr. *nordenskioldii* (Heer) Nath. и голосеменными неясного систематического положения *Carpolithes minor* Pryn., *Carpolithes* sp. Верхняя пачка 3 (интервал 40—50 м) представлена параллельно-тонкослоистыми алевролитами серого цвета с растительными остатками лептострбового *Czekanowskia tjukjanensis* Kiritch. et Samyl. и хвойного *Schizolepis* sp. Накопление верхней части разреза (пачки 2 и 3) происходило в озерно-болотных условиях с периодическим пересыханием, о чем свидетельствуют ритмично переслаивающиеся параллельно-тонкослоистые алевролиты с угольными пластами. Нижняя часть разреза (пачка 1) накапливалась преимущественно в аллювиальных условиях, при этом русловый аллювий представлен хорошо окатанным сортированным песчано-гравелитовым материалом, а пойменный — прослоями алевролитов с остатками наземных растений.

В расположенном выше и западнее 13-метровом разрезе (обнажение 7, см. рис. 5, в) вскрытая нижняя пачка 1 (интервал 0—3.7 м) представлена промытыми средне- и крупнозернистыми песками с включением гравийного материала, частицы хорошо окатаны, отложения сильно ожелезнены. Выше с небольшим размывом залегает пачка 2 (интервал 3.7—5.9 м), состоящая из горизонтально-тонкослоистых супесчано-суглинистых отложений, которые представлены перемежающимися слоями с более или менее темной серой окраской (вероятно, за счет большего или меньшего содержания органики). Встречаются редкие прослои среднезернистого песка. Над ними залегает пачка косослоистых разнозернистых песчаников с включениями линз неокатанного грубообломочного материала (пачка 3 (интервал 5.9—9.1 м)). Отложения сильно ожелезнены и имеют характерный рыжий цвет. Песчаники с примесью пылеватых частиц. Выше (интервал 9.1—11.4 м) залегают сильнокарбонатизированные алевролиты с косыми прослоями известняка и включением отдельных линз дресвы (пачка 4). Самая верхняя пачка 5 (интервал 11.4—13 м) залегает с размывом и представлена косослоистым песчано-гравелитовым неокатанным материалом. Накопление данных отложений, вероятно, происходило в несколько этапов: сначала в аллювиальных условиях реки с невысокой энергией потока (пачка 1), о чем свидетельствует аккумуляция хорошо окатанного, промытого средне- и крупнозернистого песчаного материала; затем, после перерыва, в озерных условиях (пачка 2), для которых типична тонкая горизонтальная слоистость [Ботвинкина, 1965]. Вышележащие пачки 3—5 сложены делювиально-пролювиальным материалом, для ко-



Рис. 4. Карьер Тугнуйского угольного месторождения.

Стрелками указано местоположение изучаемых разрезов, представленных на фотографиях, цифрами — номера обнажений.

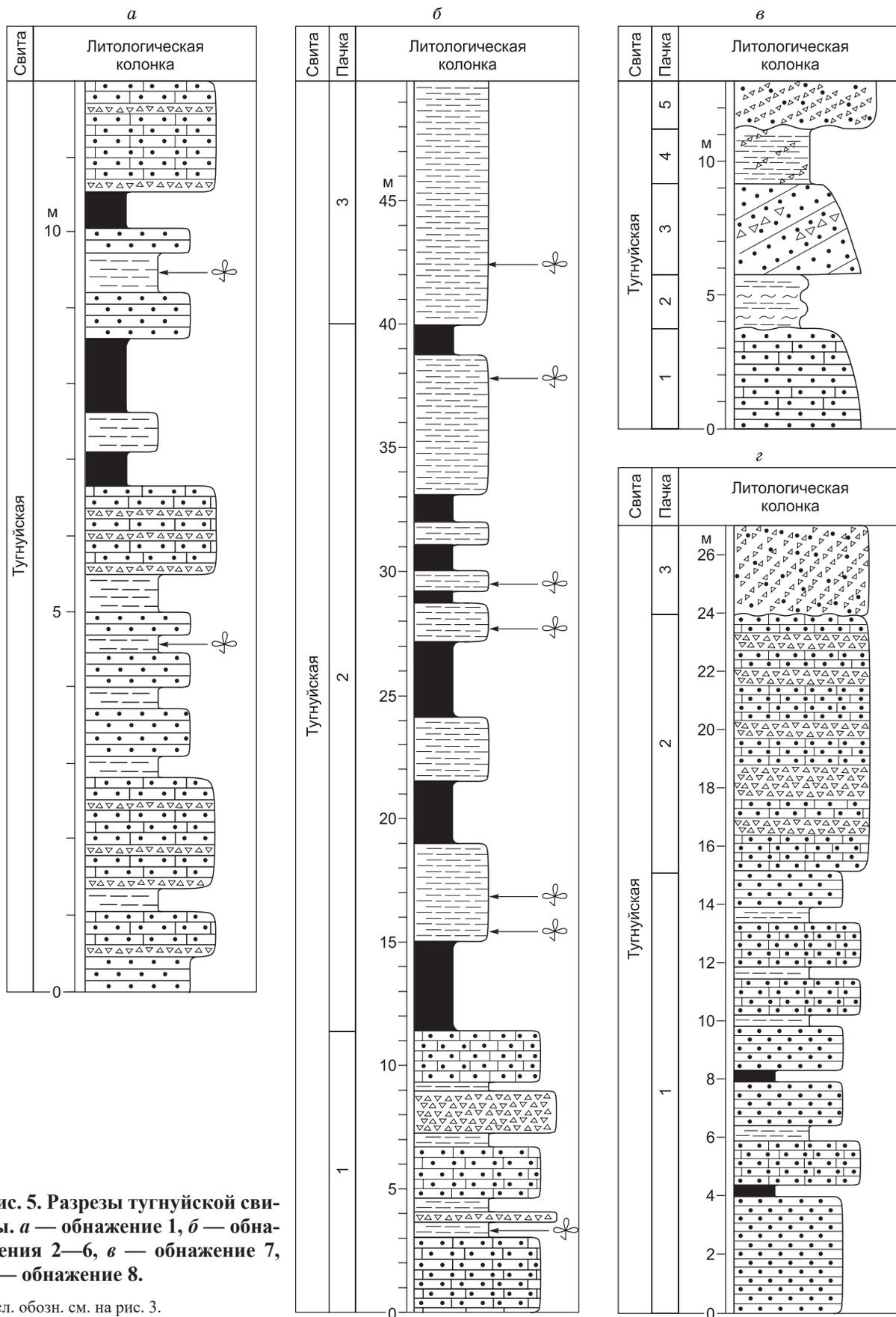


Рис. 5. Разрезы тугнуйской свиты. *а* — обнажение 1, *б* — обнажения 2—6, *в* — обнажение 7, *г* — обнажение 8.

Усл. обозн. см. на рис. 3.

того характерна косая слоистость, плохая сортировка и слабая окатанность зерен. Они накапливались в субаэральных условиях с перерывом в осадконакоплении между пачками 4 и 5.

В 27-метровом разрезе верхней части изучаемых отложений (обнажение 8, см. рис. 5, з), нижняя часть разреза (пачка 1 (интервал 0—15 м)) состоит из параллельно-слоистых светло-серых средне- и крупнозернистых песчаников с небольшими прослоями темно-серых алевролитов и углей. Выше (пачка 2 (интервал 15—24 м)) отложения представлены переслаивающимися желтоватыми грубозернистыми и гравелитовыми песчаниками с хорошо окатанными зернами. Самая верхняя пачка 3 (интервал 24—27 м) залегает с размывом и состоит из переотложенных осадков нижележащей пачки. Характер отложений нижней пачки 1 (переслаивание песчаников, алевролитов и углей) указывает на то, что она формировалась в условиях периодически затапливаемого пойменного участка долины, тогда как пачка 2 — в условиях руслового аллювия реки, для которого типично отложение песчано-гравелитового окатанного материала.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОЗРАСТА ОТЛОЖЕНИЙ ПО НАЙДЕННЫМ РАСТИТЕЛЬНЫМ ОСТАТКАМ И ГЕОХРОНОЛОГИЧЕСКИМ ДАННЫМ

Среди изученных растительных остатков из суховской подсвиты присаянской свиты наиболее разнообразны представители родов *Coniopteris* (3 вида) и *Phoenicopsis* (4 вида) (табл. 1), что свойственно среднеюрской флоре Западной Сибири [Киричкова и др., 2002, 2005]. Состав флоры присаянской свиты хорошо выдержан по горизонтали и рассматривается нами в качестве присаянского флоростратиграфического комплекса. Характерными для комплекса являются виды *Coniopteris maakiana* (Heer) Pryn. emend. Kiritch. et Trav. (рис. 6, фиг. 12, 14, 15, 16), *C. murrayana* (Brongn.) Brongn. (см. рис. 6, фиг. 13), *Cladophlebis nebbensis* (Brongn.) Nath., *Raphaelia diamensis* Sew., *R. tapkensis* (Heer) Pryn. emend. Kost., *Phoenicopsis angustifolia* Heer (рис. 7, фиг. 1, 2), *Ph. samylinae* Kiritch. et Moskv. (см. рис. 7, фиг. 3, 4), *Ph. cognata* Kiritch. (см. рис. 7, фиг. 5, 6), *Ph. irkutensis* Dolud. et Rasskaz (см. рис. 7, фиг. 7, 8). Опорными разрезами для слоев присаянского комплекса являются обнажения у с. Смоленщина и на левом берегу Иркутского водохранилища. Приведенные выше виды также имеют широкое распространение в ряде среднеюрских флоростратиграфических комплексов соседних регионов: в верхнепешковском комплексе (Западная Сибирь, верхи новогодней, тугровской, салатской и пешковской свит), этапском (Кузнецкий бассейн, верхняя подсвита осиновской свиты) и рыбинском (Канский бассейн, камалинская свита) [Костина, 2004; Киричкова и др., 2005]. Выявленный видовой состав присаянского комплекса позволяет определить возраст суховской подсвиты присаянской свиты в рамках начала средней юры (условно аален) [Фролов, 2013; Фролов и др., 2015].

Для определения абсолютного возраста подстилающих тугнуйскую свиту вулканитов нами отобран образец трахибазальта из верхней подсвиты ичетуйской свиты в левом борту долины р. Сутай (TUG-14-1, точка отбора: 51°15.202' с.ш., 107°54.229' в.д.). Датирование образца выполнено ⁴⁰Ar/³⁹Ar методом (табл. 2). По результатам ступенчатого нагрева выделяется отчетливый возраст плато 167.7 ± 1.2 млн лет, а на диаграмме обратных изохрон 167.54 ± 0.95 млн лет (рис. 8), что соответствует концу первой половины средней юры (конец байосского—начало батского веков, граница между которыми принимается международной комиссией по стратиграфии на уровне 168.3 ± 1.3 млн лет, www.stratigraphy.org). Полученная датировка свидетельствует, что тугнуйская свита, перекрывающая ичетуйскую, имеет более молодой возраст, чем присаянская свита Иркутского бассейна. Кроме того, флористический комплекс, установленный в тугнуйской свите, значительно отличается от присаянского (см. табл. 1): в нем полностью отсутствуют представители родов *Coniopteris* и *Phoenicopsis*. Обнаруженные общие виды *Cladophlebis williamsonii* Brongn., *Ginkgoites* ex gr. *sibirica* (Heer) Sew., *Czekanowskia* ex gr. *rigida* Heer, *Pityophyllum* ex gr. *nordenskioldii* (Heer) Nath. характеризуются широким стратиграфическим распространением и не могут служить индикаторами возраста отложений. Однако ранее возраст тугнуйской свиты принимался как среднеюрский по присутствию крупноперышкового папоротника *Cladophlebis suluctensis* Brick [Скобло и др., 2001], а сама свита сопоставлялась с присаянской свитой Иркутского бассейна. Вид *Cl. suluctensis* Brick, характерный для нижнесреднеюрских отложений Азии, имеет большое сходство с позднеюрским крупноперышковым видом *Cladophlebis aldanensis* Vachr. [Вахрамеев, 1958]. В тугнуйской свите мы обнаружили массовые захоронения крупноперышковых папоротников. Хорошая сохранность ископаемого материала позволила провести детальное сравнение этих остатков с видами *Cl. suluctensis* Brick. и *Cl. aldanensis* Vachr. Для *Cl. suluctensis* Brick. типичны почти прямые языковидные перышки с закругленными или приостренными верхушками и очень густыми боковыми жилками (на 1 см края перышка приходится 22 жилки) (см. рис. 6, фиг. 1, 3, 5). У тугнуйских образцов перышки слегка серповидно изогнуты, имеют острые верхушки и менее густое жилкование (на 1 см края перышка приходится 11—14 жилок), что свидетельствует об их принадлежности именно виду *Cl. aldanensis* Vachr. (см. рис. 6, фиг. 2, 4, 6). Стратиграфическое распространение этого папоротника до-

Таблица 1. Распространение ископаемых растений по разрезам присаянской и тугнуйской свит

Вид	Присаянская свита				Тугнуйская свита	
	Синюшина гора	с. Смоленщина	падь Топка	Мельничная падь	Зачистки 3—7	Зачистка 8
<i>Hepaticites arcuatus</i>		+				
<i>Lycopodites baikalensis</i>				+		
<i>Equisetites</i> sp.				+		
<i>Hausmannia crenata</i>				+		
<i>Coniopteris murrayana</i>	+	+	+			
<i>Coniopteris maakiana</i>		+	+	+		
<i>Coniopteris spectabilis</i>		+				
<i>Cladophlebis aldanensis</i>					+	
<i>Cladophlebis haiburnensis</i>		+	+	+		
<i>Cladophlebis nebbensis</i>	+	cf.		+		
<i>Cladophlebis williamsonii</i>	+	+	+	+	+	
<i>Cladophlebis argutula</i>				+		
<i>Raphaelia diamensis</i>		+		+		
<i>Raphaelia tapkensis</i>				+		
<i>Heilungia</i> sp.						+
<i>Sphenobaiera</i> ex gr. <i>czekanowskiana</i>		+		+		
<i>Ginkgo</i> ex gr. <i>sibirica</i>		+				+
<i>Pseudotorellia</i> cf. <i>ensiformis</i>				+		
<i>Pseudotorellia</i> cf. <i>paradoxa</i>				+		
<i>Czekanowskia</i> ex gr. <i>rigida</i>	+	+	+	+	+	
<i>Czekanowskia tjukjanensis</i>					+	
<i>Phoenicopsis angustifolia</i>	+	+	ex gr.	+		
<i>Phoenicopsis samylinae</i>	+					
<i>Phoenicopsis irkutensis</i>	+					
<i>Phoenicopsis mogutchevae</i>		cf.				
<i>Phoenicopsis cognata</i>		+				
<i>Phoenicopsis</i> ex gr. <i>speciosa</i>			+			
<i>Elatocladus manchuricus</i>				+		
<i>Taxocladus ketovae</i>				+		
<i>Pityophyllum</i> ex gr. <i>nordenskioldii</i>	+	+	+	+	+	
<i>Pityospermum</i> sp.					+	
<i>Schizolepis</i> sp.					+	
<i>Carpolithes cinctus</i>				+		
<i>Carpolithes heeri</i>				+		
<i>Carpolithes minor</i>					+	
<i>Stenorachis</i> (?) <i>clavata</i>		+				

вольно широко: от второй половины средней юры (келловей) [Киричкова, 1985] до низов нижнего мела (берриас) [Красилов, 1973]. В.А. Вахрамеев [Друщиц, Вахрамеев, 1976; Вахрамеев, 1988] считает его руководящим для верхнеюрских отложений бассейнов рек Лена, Зeya и Буря. Изучение фитолейм лептострбовых выявило присутствие в тугнуйской свите вида *Czekanowskia tjukjanensis* Kiritch. et Samyl. (см. рис. 6, фиг. 7—11), характерного для верхнеюрских отложений бассейна р. Лена [Самылина, Киричкова, 1991]. С учетом стратиграфического положения тугнуйской свиты (залегает на ичетуйской свите байос-батского возраста), мы не можем с полной уверенностью исключить возможность ее формирования в конце среднеюрской эпохи. Тем не менее широкое распространение в тугнуйской свите папоротника *Cl. aldanensis* Vachr. и присутствие лептострбового *Cz. tjukjanensis* Kiritch. et Samyl. позволяют с некоторой долей условности сопоставить полученный флористический комплекс с джайской-

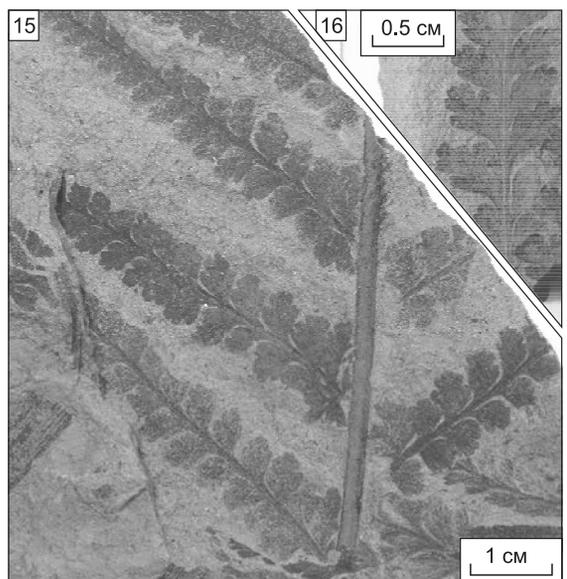
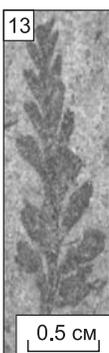
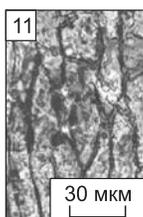
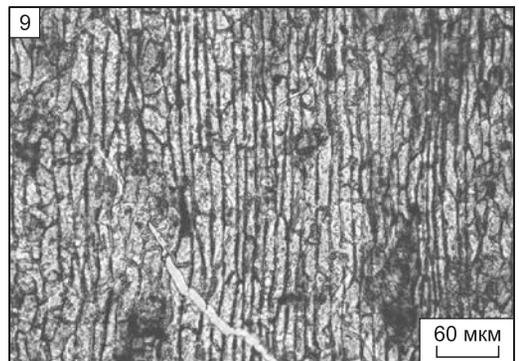
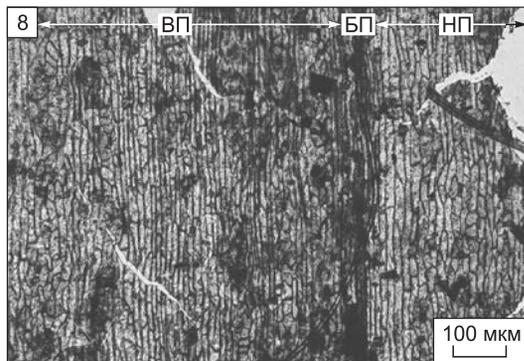
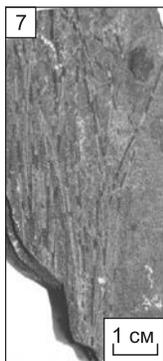
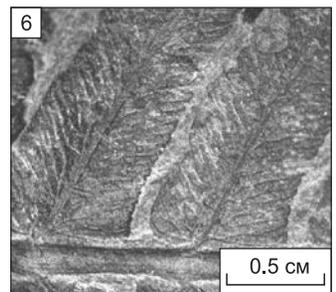
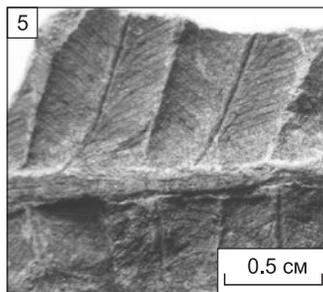
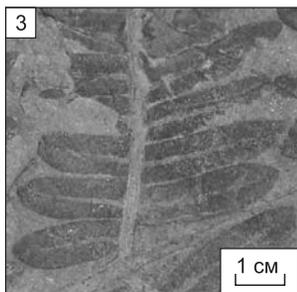
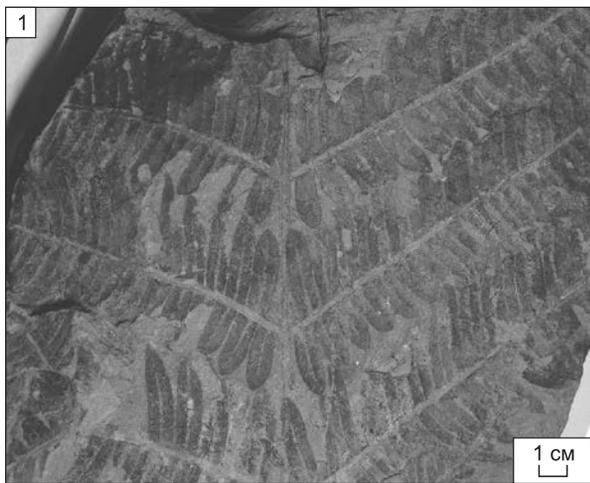


Рис. 6. Некоторые ископаемые растения присаянской (Иркутский бассейн) и тугнуйской (Тугнуйская впадина) свит.

Фиг. 1, 3, 5 — *Cladophlebis suluctensis* Brick из разреза на левом берегу Иркутского водохранилища севернее пос. Мельничная падь: 1 — отпечаток дваждыперистой вайи, обр. Ст-2009/1-3; 3 — отпечаток пера папоротника с хорошо различимой формой перышек, обр. Ст-2009/1-3; 5 — перышки крупным планом с деталями жилкования, обр. Ст-2009/1-2; фиг. 2, 4, 6 — *Cladophlebis aldanensis* Vachrameev из разреза тугнуйской свиты на Тугнуйском угольном месторождении: 2 — отпечаток дваждыперистой вайи, обр. Туг-2014/14-1; 4 — отпечаток пера папоротника с хорошо различимой формой перышек, обр. Туг-2014/4-1; 6 — перышки крупным планом с деталями жилкования, обр. Туг-2014/22-1; фиг. 7 — 11 — *Czekanowskia tjukjanensis* Kiritchkova et Samyulina из разреза тугнуйской свиты на Тугнуйском угольном месторождении, обр. Туг-2014/9-1: 7 — фрагменты узких дихотомически рассеченных листьев; 8 — общее строение эпидермы листа: ВП, БП и НП — верхняя, боковая и нижняя поверхности эпидермы соответственно; 9 — строение верхней эпидермы, 10 — строение нижней эпидермы, 11 — устьице; фиг. 12, 14, 15, 16 — *Coniopteris maakiana* (Heer) Prunada emended Kiritchkova et Travina из разрезов присаянской свиты: 12, 14, 16 — отпечатки перьев, фиг. 12, 14 — обнажение на правом берегу р. Ангара напротив устья р. Топка, обр. Тп-2011/91-5, Тп-2011/91-1 соответственно; фиг. 16 — обнажение к северу от пос. Мельничная падь, обр. Ст-2010/12-8. 15 — отпечаток дваждыперистой вайи, обр. Тп-2011/91-1, обнажение на правом берегу р. Ангара напротив устья р. Топка; фиг. 13 — *Coniopteris murrayana* (Brong.) Brongniart, отпечаток пера папоротника из разреза присаянской свиты у с. Смоленщина, обр. См-2009/12-1.

ским флоростратиграфическим комплексом (Вилуйская синеклиза) [Киричкова, 1985] и определить возраст свиты как конец средней (условно келловей), возможно, начало поздней (условно оксфорд) юры.

Таким образом, тугнуйская свита Тугнуйской впадины Юго-Западного Забайкалья не является одновозрастной с присаянской свитой Иркутского бассейна, как это предполагалось ранее [Скобло и др., 2001]. Палеоботанические исследования показали, что верхняя часть присаянской свиты формировалась в начале среднеюрской эпохи (условно аален), тогда как осадки тугнуйской свиты, вероятнее всего, накапливались в конце средней—начале поздней юры (предположительно келловей—оксфорд). О том же свидетельствует полученная Ar-Ar методом датировка ичетуйских вулканитов, подстилающих тугнуйскую свиту.

АНАЛИЗ ПАЛЕОГЕОГРАФИЧЕСКИХ ДАННЫХ

В начале ранней юры территория юга Сибирской платформы представляла собой слаборасчлененную эрозионно-денудационную равнину [Файнштейн, 1971]. Горные области располагались на значительном удалении от границы платформы, о чем свидетельствует отсутствие раннеюрских грубообломочных отложений на территории юга Иркутского амфитеатра. Состав осадков соответствует местным источникам сноса — материнским породам доюрского фундамента. При этом в работах [Prokoriev et al., 2008; Miller et al., 2013; Паверман и др., 2015] по данным изучения детритовых цирконов из отложений карбона, триаса и юры показано, что на Сибирской платформе существовали долгоживущие речные стоки в северо-восточном направлении (в современных координатах) через Палеовилуй, Палеолену и их притоки. Эти реки транспортировали материал с территории Центрально-Азиатского складчатого пояса к Верхоянской пассивной континентальной окраине, что свидетельствует о существовании горного обрамления к югу от Сибирской платформы в течение всего этого времени. Субдукция Монголо-

Таблица 2. Результаты измерений образца вулканита TUG-14-1 верхней подсвиты ичетуйской свиты Тугнуйской впадины

T, °C	⁴⁰ Ar	±	³⁹ Ar	±	³⁸ Ar	±	³⁷ Ar	±	³⁶ Ar	±	Возраст, млн лет	2 σ ±
552	2951.2	9.7	107.2	0.5	2.75	0.17	148.3	1.6	2.401	0.157	170.08	4.75
640	8628.6	28.8	370.7	1.3	6.96	0.17	583.1	2.6	3.358	0.158	168.04	2.28
696	8527.9	28.4	414.2	1.5	7.12	0.16	674.9	2.9	0.142	0.154	167.37	2.44
753	10115.4	33.7	491.4	1.7	7.93	0.19	850.7	3.5	0.010	0.166	168.10	2.32
802	8012.2	26.8	388.3	1.4	6.48	0.18	650.1	2.9	0.010	0.159	168.47	2.59
883	8059.8	26.9	390.3	1.4	6.94	0.17	560.5	2.6	0.295	0.163	166.86	2.56
989	9536.1	31.9	463.9	1.6	8.03	0.16	328.4	2.0	0.061	0.161	167.61	2.35
1099	8944.8	30.0	437.6	1.5	7.79	0.19	382.1	2.3	0.010	0.172	166.96	2.51
1215	2433.7	8.2	122.6	0.6	3.09	0.17	235.0	1.8	0.124	0.168	160.01	6.76
1396	4618.8	15.6	211.1	0.8	5.14	0.16	455.3	2.3	1.612	0.184	160.44	3.82

Примечание. Приведены значения сигналов в фемтоамперах (fA), после коррекции на фон, коэффициент масс-дискриминации масс-спектрометра и интерферирующие изотопы аргона, образующиеся при облучении в реакторе атомов Са и К в образце. J-фактор равен 0.004745 ± 0.000024.

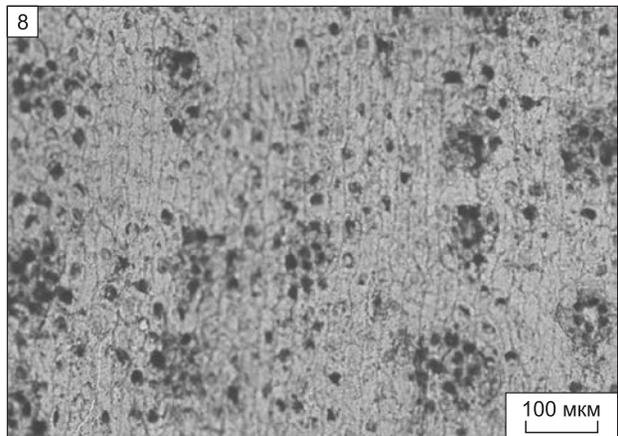
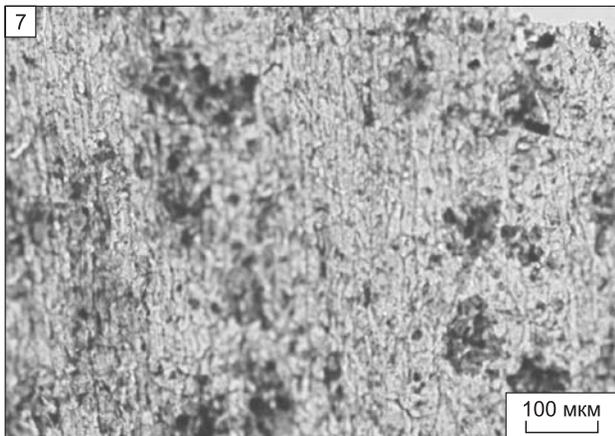
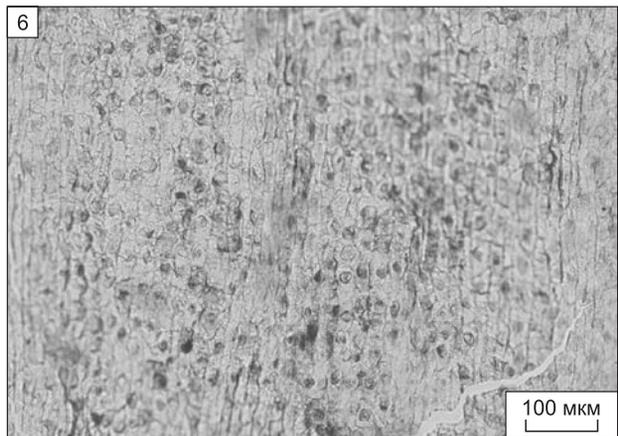
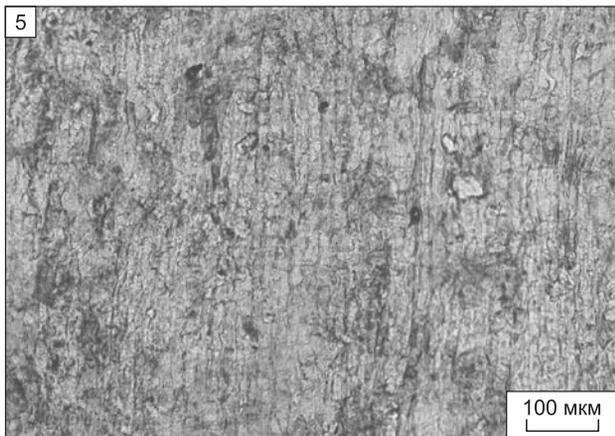
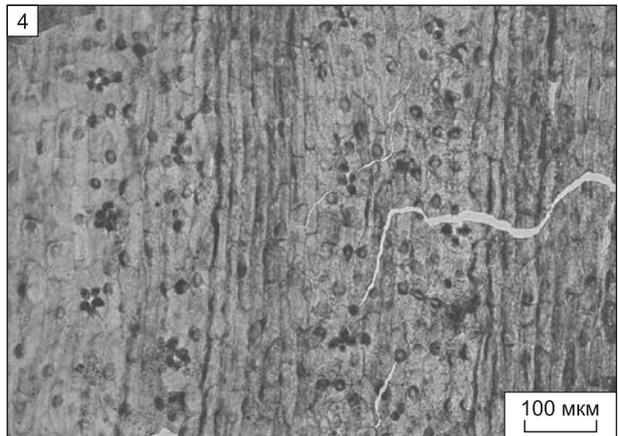
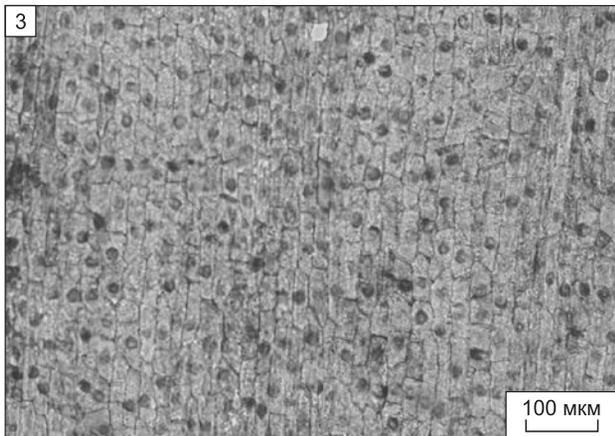
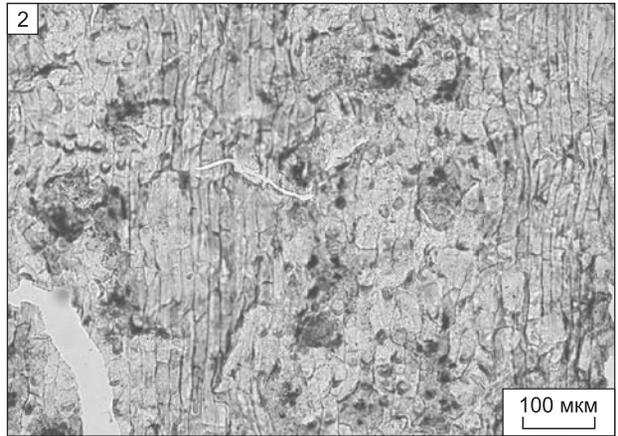
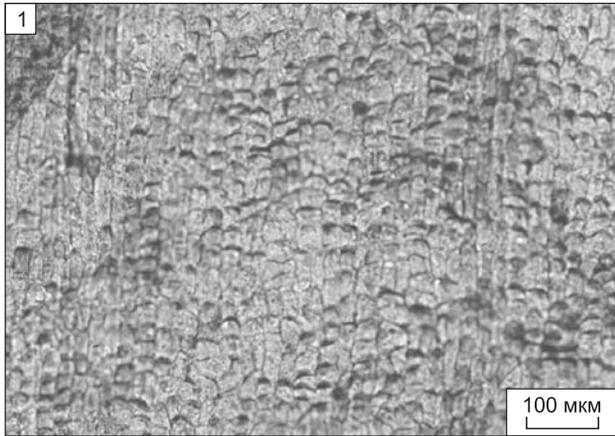


Рис. 7. Эпидермальное строение листьев рода *Phoenicopsis* из разреза на Синюшиной горе, вскрывающего присаянскую свиту.

Фиг. 1, 2 — *Ph. angustifolia* Heer, обр. Сг-2009/7-3-1: 1 — строение верхней эпидермы, 2 — строение нижней эпидермы; фиг. 3, 4 — *Ph. samylinae* Kiritchkova et Moskvina, обр. Сг-2009/7-1-1: 3 — строение верхней эпидермы, 4 — строение нижней эпидермы; фиг. 5, 6 — *Ph. cognata* Kiritchkova, обр. Сг-2009/6-5: 5 — строение верхней эпидермы, 6 — строение нижней эпидермы; фиг. 7, 8 — *Ph. irkutensis* Doludenko et Rasskazova, обр. Сг-2009/11a-1-1: 7 — строение верхней эпидермы, 8 — строение нижней эпидермы.

Охотской океанической коры под Сибирский континент способствовала широкому распространению вулканоплутонической активности в регионе [Zorin et al., 1990; Донская и др., 2012; Donskaya et al., 2013], формируя магматические комплексы, являющиеся новыми источниками сноса для осадков, сносимых в сторону платформы с Центрально-Азиатского складчатого пояса. Данные низкотемпературной термохронологии (трековый анализ) и седиментологические исследования указывают на денудацию юры до раннего мела на широкой территории к югу и юго-западу от Сибирской платформы, включающей Северо-Восточный Алтай [De Grave, Van den Haute, 2002; De Grave et al., 2008], Западный Саян [Le Heron et al., 2008] и Байкало-Патомский регион [Van der Beek et al., 1996; Jolivet et al., 2009]. Этот период связывается с возобновлением горообразования и эрозии, которые последовали за закрытием Монголо-Охотского океана. Для территории Забайкалья, находящейся вблизи Монголо-Охотской сутуры, развитие рельефа связывается с деформациями растяжения, проявившимися в средней и поздней юре за счет сдвиговых перемещений в зоне косой коллизии после закрытия океана [Jolivet et al., 2017]. При этом U-Pb данные детритовых цирконов из отложений юга Иркутского амфитеатра свидетельствуют о быстром росте гор в Забайкалье на границе ранней и средней юры [Demonterova et al., 2017]. Термальное моделирование для района Восточного Саяна показало, что здесь с поздней юры — раннего мела происходила медленная денудация, проявившаяся развитием постоянно обновляющейся эрозионной поверхности, не прерывавшаяся активными тектоническими движениями вплоть до неогена [Jolivet et al., 2013; Аржанникова и др., 2013].

Заложение Байкало-Саянского юрского предгорного прогиба началось в середине ранней юры (плинсбах) [Файнштейн, 1971]. При этом территория Восточных Саян представляла собой низкогорный рельеф, о чем свидетельствует мелкообломочный характер конгломератов в осадках Присаянского прогиба низов черемховской свиты. На начальных этапах осадконакопления преобладали русловые фации аллювия, свидетельствующие об относительно активной гидродинамике рек, дренирующих горную систему на периферии платформы, подчиненное место занимали пойменные и озерно-болотные фации. Для последних этапов осадконакопления черемховской свиты характерно преобладание в осадочных разрезах песчаников и алевролитов с мощными угленосными горизонтами и почти полное исчезновение конгломератов [Плоскогорья..., 1971].

Время накопления присаянской свиты — на рубеже ранней и средней юры (тоар—аален) — характеризуется усилением тектонической активности, выражавшейся в росте гор в южном обрамлении платформы и усилении прогибания предгорных впадин, в результате чего гидродинамика рек станови-

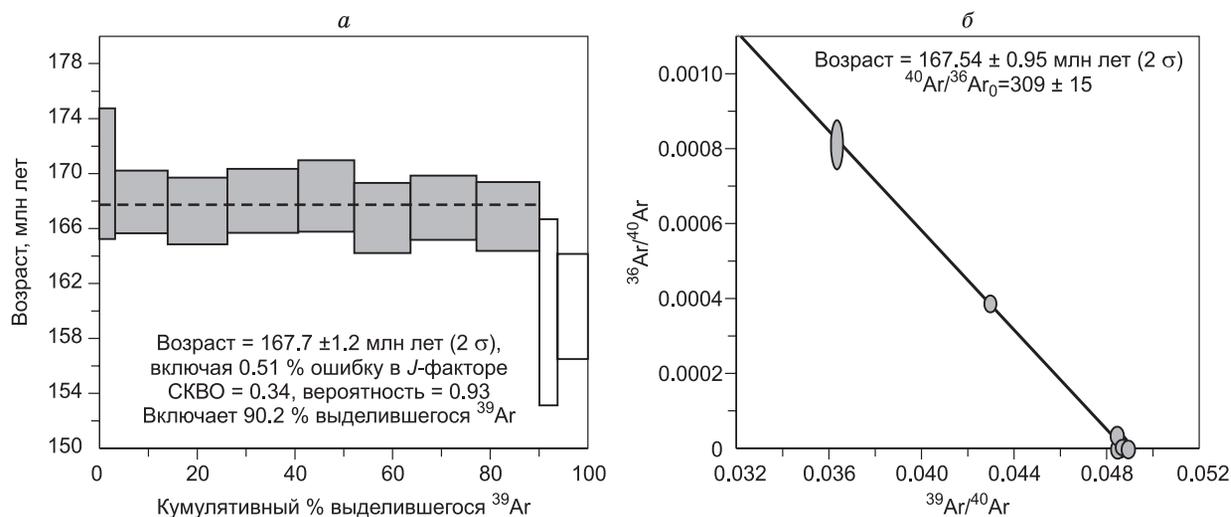


Рис. 8. Диаграмма ступенчатого нагрева (а) и обратных изохрон (б) для образца вулканита TUG-14-1 верхней подсвиты ичетуйской свиты Тугнуйской впадины.

лась активнее по сравнению с черемховским временем, а скорости течения выше [Юрские континентальные..., 1967; Плоскогорья..., 1971; Файнштейн, 1971].

Более интенсивный рост гор на Байкало-Саянской границе платформы приходится на время накопления кудинской свиты (байос—бат). На территории платформы при этом господствовал русловый режим речных систем с высокой гидродинамической активностью [Файнштейн, 1971]. В работе [Тимофеев, 1970] также указывается на широкое развитие аллювиальных отложений Праангары этого времени, в верховьях которой (побережье Байкала, истоки Ангары и частично Прииркутская мульда) сохранились аллювиальные обстановки речных долин горного типа, где накапливались разногальчные конгломераты с прослоями разнозернистых гравелитов.

Изотопно-геохимические Sm-Nd исследования осадков Иркутского бассейна [Михеева и др., 2017; Demonterova et al., 2017] показали смену области сноса осадочного материала, которая выражается в уменьшении вверх по разрезу доли местных источников сноса и увеличении доли забайкальских. Изучение возраста детритовых цирконов (U-Pb датирование LA-ICP-MS) из верхней части присаянской свиты (суховской подсвиты) и кудинской свиты позволило обнаружить появление в кудинской свите генерации молодых цирконов, присущих вулканитам Забайкалья, что также свидетельствует о смене источников сноса и росте гор в южном обрамлении платформы во время формирования кудинской свиты [Демонтерова и др., 2015; Demonterova et al., 2017]. По данным работы [Prokoriev et al., 2008], Монголо-Охотский океан, существовавший к югу от Сибирской платформы, полностью закрылся к средней юре, и далее территория развивалась при левосторонних сдвиговых деформациях в сутурной зоне. Вероятно, косая коллизия при закрытии океана в начале средней юры усилила складчатые деформации в южном обрамлении Сибирской платформы, что повлияло на формирование дополнительных источников сноса для среднеюрских отложений Иркутского бассейна.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты палеоботанических и геохронологических исследований показали, что тугнуйская свита Тугнуйской впадины Юго-Западного Забайкалья не является разновозрастной с присаянской свитой Иркутского бассейна, как это предполагалось ранее [Скобло и др., 2001]. Мелкообломочные отложения верхней части присаянской свиты формировались в начале среднюрской эпохи, тогда как подобные осадки тугнуйской свиты накапливались в конце средней—начале поздней юры.

Анализ палеогеографических реконструкций показал, что активизация рельефообразующих процессов в южном обрамлении Сибирской платформы началась в ранней юре, сменив период тектонического спокойствия. Эта активизация, вероятно, связана с деформациями латерального сжатия и короблением коры на границе с платформой, спровоцированного процессами закрытия Монголо-Охотского океана. Усиление процессов горообразования на границе Сибирской платформы, выраженное в осадках Иркутского бассейна постепенным увеличением русловых фаций аллювия рек с высокой гидродинамической активностью, максимально проявленных в верхней, кудинской, свите, коррелируется с усилением тектонической активности в Забайкалье, о чем свидетельствует появление нового, забайкальского, источника сноса для отложений среднюрской кудинской свиты [Демонтерова и др., 2015; Demonterova et al., 2017]. Полученные нами геохронологические данные показали, что активные тектонические деформации в Юго-Западном Забайкалье, маркируемые накоплением в Тугнуйской впадине вулканогенно-осадочной ичетуйской свиты, также приходятся на среднюрское время — продатированный $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ методом образец вулканита верхней подсвиты ичетуйской свиты соответствует возрасту 167.7 ± 1.2 млн лет.

Условия осадконакопления в Тугнуйской впадине постепенно менялись, и ко времени формирования тугнуйской свиты район развивался в спокойном тектоническом режиме. В составе свиты преобладает аллювий равнинных рек и пойменные озерно-болотные отложения, представленные алевролитами и аргиллитами с мощными прослоями углей. Время накопления мелкозернистых осадков Тугнуйской впадины маркирует эпоху выравнивания рельефа в Юго-Западном Забайкалье, связанного с временным ослаблением тектонических движений в зоне закрытия Монголо-Охотского океана.

Авторы благодарят рецензентов за внимательное рассмотрение рукописи и сделанные замечания, которые помогли улучшить статью.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проекты № 13-05-91052-НЦНИ, 16-35-60005, 17-05-00191), обработка образцов и проведение анализов осуществлялось в ЦКП «Геодинамика и геохронология» ИЗК СО РАН.

ЛИТЕРАТУРА

Акулов Н.И., Фролов А.О., Машук И.М., Акулова В.В. Юрские отложения южной части Иркутского осадочного бассейна // Стратиграфия. Геологическая корреляция, 2015, т. 23, № 4, с. 1—24.

Аржанникова А.В., Жоливе М., Аржанников С.Г., Вассалло Р., Шове А. Возраст формирования и деструкции мезозойско-кайнозойской поверхности выравнивания в Восточном Саяне // Геология и геофизика, 2013, т. 54 (7), с. 894—905.

Болдырев В.И. Легенда Ангарской серии листов Государственной геологической карты Российской Федерации м-ба 1:200 000. Объяснительная записка. Иркутск, Иркутскгеология, 1999, 229 с.

Ботвинкина Л.Н. Методическое руководство по изучению слоистости. М., Наука, 1965, 259 с.

Вахрамеев В.А. Региональная стратиграфия СССР. Т. 3. Стратиграфия и ископаемая флора юрских и меловых отложений Вилуйской впадины и прилегающей части Приверхоанского краевого прогиба. М., Изд-во АН СССР, 1958, 136 с.

Вахрамеев В.А. Юрские и меловые флоры и климаты Земли. М., Наука, 1988, 214 с.

Гордиенко И.В., Кузьмин М.И. Геодинамика и металлогения Монголо-Забайкальского региона // Геология и геофизика, 1999, т. 40 (11), с. 1545—1562.

Гордиенко И.В., Климук В.С., Иванов В.Г., Посохов В.Ф. Новые данные о составе и возрасте бимодальной вулканической серии Тугнуйской рифтогенной впадины (Забайкалье) // ДАН, 1997, т. 352, № 6, с. 799—803.

Демонтерова Е.И., Иванов А.В., Михеева Е.А., Аржанникова А.В., Фролов А.О., Аржанников С.Г., Брянский Н.В., Резницкий Л.З., Павлова Л.А., Зарубина О.В. Юрские осадки на юге Сибирского кратона как отражение закрытия Монголо-Охотского океана // Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту). Материалы совещания. Вып. 13. Иркутск, ИЗК СО РАН, 2015, с. 75—77.

Донская Т.В., Гладкочуб Д.П., Мазукабзов А.М., де Ваэле Б., Пресняков С.Л. Позднетриасовая Катаевская вулканоплутоническая ассоциация Западного Забайкалья — фрагмент активной континентальной окраины Монголо-Охотского океана // Геология и геофизика, 2012, т. 53 (1), с. 30—49.

Друщиц В.В., Вахрамеев В.А. Граница юры и мела // Границы геологических систем / Ред. Б.М. Келлер. М., Наука, 1976, с. 185—224.

Зорин Ю.А., Беличенко В.Г., Турутанов Е.Х., Кожевников В.М., Скляров Е.В., Томуртоого О., Хосбаяр П., Арвисбаатар Н., Бямбаа Ч. Террейны Восточной Монголии и Центрального Забайкалья и развитие Монголо-Охотского складчатого пояса // Геология и геофизика, 1998, т. 39 (1), с. 11—25.

Иванов В.Г., Ярмолюк В.В., Смирнов В.Н. Новые данные о возрасте проявления вулканизма в Западно-Забайкальской позднемезозойско-кайнозойской вулканической области // ДАН, 1995, т. 345, № 5, с. 648—652.

Киричкова А.И. Фитостратиграфия и флора юрских и нижнемеловых отложений Ленского бассейна. Л., Недра, 1985, 222 с.

Киричкова А.И., Быстрицкая Л.И., Травина Т.А. Значение Coniopteris и Czekanowskiales для стратиграфии континентальной юры Западной Сибири // Стратиграфия. Геологическая корреляция, 2002, т. 10, № 3, с. 35—52.

Киричкова А.И., Костина Е.И., Быстрицкая Л.И. Фитостратиграфия и флора юрских отложений Западной Сибири. СПб., Недра, 2005, 378 с.

Колесников Ч.К. Стратиграфия континентального мезозоя Забайкалья // Стратиграфия и палеонтология мезозойских и кайнозойских отложений Восточной Сибири и Дальнего Востока / Ред. Г.Г. Мартинсон. М., Л., Наука, 1964, с. 5—138.

Комаров Ю.В., Киселев А.И., Лямина Н.А., Скобло В.М. Среднеюрские эффузивные породы Юго-Западного Забайкалья // Петрография Восточной Сибири. Т. 3 / Под ред. Г.Д. Афанасьева, И.В. Белова. М., Наука, 1965, с. 295—314.

Красилов В.А. Материалы по стратиграфии и палеофлористике угленосной толщи Буреинского бассейна // Ископаемые флоры и фитостратиграфия Дальнего Востока. Владивосток, 1973, с. 28—51.

Костина Е.В. Юрская флора Канского угленосного бассейна. М., ГЕОС, 2004, 166 с.

Кузьмин М.И., Кравчинский В.А. Первые палеомагнитные данные по Монголо-Охотскому поясу // Геология и геофизика, 1996, т. 37 (1), с. 54—62.

Метелкин Д.В., Гордиенко И.В., Климук В.С. Палеомагнетизм верхнеюрских базальтов Забайкалья: новые данные о времени закрытия Монголо-Охотского океана и мезозойской внутриплитной тектонике Центральной Азии // Геология и геофизика, 2007, т. 48 (10), с. 1061—1073.

Михеева Е.А., Демонтерова Е.И., Фролов А.О., Аржанникова А.В., Аржанников С.Г., Черкашина Т.Ю., Иванов А.В. Смена источников сноса Иркутского угольного бассейна в течение ранней и средней юры по геохимическим и Sm-Nd изотопным данным // Стратиграфия. Геологическая корреляция, 2017, т. 25, № 4, с. 3—25.

Паверман В.И., Шацилло А.В., Хуриган Дж. Палеовиллюй в раннем карбоне: новые геохронологические данные по детритным цирконам точерской (ЦАСП), батуринской (юго-запад Сибирской платформы) и эмьяксинской (река Вилюй) свит // Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту). Материалы совещания. Вып. 13. Иркутск, ИЗК СО РАН, 2015, с. 177—180.

Плоскогорья и низменности Восточной Сибири. История развития рельефа Сибири и Дальнего Востока // Ред. Н.А. Флоренсов. М., Наука, 1971, 320 с.

Решения III Межведомственного регионального стратиграфического совещания по мезозою и кайнозою Средней Сибири. МСК СССР / Ред. В.Н. Сакс. Новосибирск, 1981, 91 с.

Самылина В.А. Систематика рода *Phoenicopsis* // Мезозойские растения Восточной Сибири // Ред. В.А. Вахрамеев. М., Наука, 1972, с. 44—81.

Самылина В.А., Киричкова А.И. Род *Czekanowskia* (систематика, история, распространение, значение для стратиграфии). Л., Наука, 1991, 139 с.

Скобло В.М., Лямина Н.А., Руднев А.Ф., Лузина И.В. Континентальный верхний мезозой Прибайкалья и Забайкалья (стратиграфия, условия осадконакопления, корреляции). Новосибирск, Изд-во СО РАН, 2001, 332 с.

Сребродольская И.Н., Козубова Л.А. О возрасте ичетуйской свиты в Западном Забайкалье // Геология и геофизика, 1976 (7), с. 90—94.

Тимофеев П.П. Юрская угленосная формация Южной Сибири и условия ее образования. М., Наука, 1970, 208 с. (Тр. ГИН АН СССР, вып. 198).

Файнштейн Г.Х. Палеогеография юры Иркутского амфитеатра в связи с ее экзогенной рудоносностью // Материалы по геологии и полезным ископаемым Сибирской платформы. М., Недра, 1971, с. 55—68.

Флоренсов Н.А. К палеогеографии континентального мезозоя на юге Восточной Сибири // Изв. СО АН СССР, 1958, № 4, с. 19—28.

Фролов А.О. Ранне- и среднеюрские растительные сообщества Иркутского угольного бассейна: Автореф. дис. ... к.г.-м.н. Томск, 2013, 20 с.

Фролов А.О., Машук И.М. Первая находка папоротника *Cladophlebis kanskiensis* Kost. в среднеюрских отложениях Иркутского угольного бассейна (Восточная Сибирь, Россия) // Изв. Иркут. ун-та. Серия Науки о Земле, 2016, т. 16, с. 128—136.

Фролов А.О., Машук И.М., Аржанникова А.В. Первые палеоботанические находки из Кудинской и Тальцинской свит (Иркутский угленосный бассейн) и их стратиграфическое значение // Строение литосферы и геодинамика. Материалы XXVI Всероссийской молодежной конференции. Иркутск, ИЗК СО РАН, 2015, с. 204—205.

Юрские континентальные отложения юга Сибирской платформы / Ред. М.М. Одинцов. М., Наука, 1967, 336 с.

Davis G.A., Wang Cong, Zheng Yadong, Zhang Jinjiang, Zhang Changhou, Gehrels G.E. The enigmatic Yinshan fold-and-thrust belt of northern China: New views on its intraplate contractional styles // Geology, 1998, v. 26, p. 43—46.

De Grave J., Van den Haute P. Denudation and cooling of the Lake Teletskoye Region in the Altai Mountains (South Siberia) as revealed by apatite fission-track thermochronology // Tectonophysics, 2002, v. 349, p. 145—159.

De Grave J., Van den Haute P., Buslov M.M., Dehandschutter B., Glorie S. Apatite fission-track thermochronology applied to the Chulyshman Plateau, Siberian Altai Region // Radiat. Meas., 2008, v. 43, p. 38—42.

Demonterova E.I., Ivanov A.V., Mikheeva E.M., Arzhannikova A.V., Frolov A.O., Arzhannikov S.G., Bryanskiy N.V., Pavlova L.A. Early to Middle Jurassic history of the southern Siberian continent (Transbaikalia) recorded in sediments of the Siberian Craton: Sm-Nd and U-Pb provenance study // Bull. de la Société Géologique de France, 2017, v. 188, №1-2 (art. № 8), doi: 10:1051/bsgf/2017009.

Donskaya T.V., Gladkochub D.P., Mazukabzov A.M., Ivanov A.V. Late Paleozoic-Mesozoic subduction-related magmatism at the southern margin of the Siberian continent and the 150 million-year history of the Mongol-Okhotsk Ocean // J. Asian Earth Sci., 2013, v. 62, p. 79—97.

Geological map of Central Asia and adjacent areas 1:2 500 000 // Eds. Q. Xinglei, W. Zuoyong). Beijing, Geological Publishing House, 2008.

Ivanov A.V., Meffre S., Thompson J., Corfu F., Kamenetsky V.S., Kamenetsky M.B., Demonterova E.I. Timing and genesis of the Karoo-Ferrar large igneous province: New high-precision U-Pb data confirm short duration of the major magmatic pulse // Chem. Geol., 2017, v. 455, p. 32—43.

Jolivet M., De Boisgrollier T., Petit C., Fournier M., Sankov V.A., Ringenbach J.-C., Byzov L., Miroshnichenko A.I., Kovalenko S.N., Anisimova S.V. How old is the Baikal Rift Zone? Insight from apatite fission track thermochronology // *Tectonics*, 2009, v. 28, TC3008.

Jolivet M., Arzhannikov S., Arzhannikova A., Chauvet A., Vassallo R., Braucher R. Geomorphic Mesozoic and Cenozoic evolution in the Oka-Jombolok region (East Sayan ranges, Siberia) // *J. Asian Earth Sci.*, 2013, v. 62, special № SI, p. 117—133.

Jolivet M., Arzhannikova A., Frolov A., Arzhannikov S., Kulagina N., Akulova V., Vassallo R. Late Jurassic — Early Cretaceous paleoenvironment evolution of the Transbaikalian basins (SE Siberia): implications for the Mongol-Okhotsk orogeny // *Bull. de la Société Géologique de France*, 2017, v. 188, № 1-2 (art. № 9); doi: 10.1051/bsgf/2017010.

Kravchinsky V.A., Cogne J.-P., Harbert W.P. and Kuzmin M.I. Evolution of the Mongol-Okhotsk Ocean as constrained by new palaeomagnetic data from the Mongol-Okhotsk suture zone, Siberia // *Geophys. J. Int.*, 2002, v. 148, p. 34—57.

Le Heron D.P., Buslov M.M., Davies C., Richards K., Safonova I. Evolution of Mesozoic fluvial systems along the SE flank of the West Siberian Basin, Russia // *Sediment. Geol.*, 2008, v. 208, p. 45—60.

Metelkin D.V., Vernikovskiy V.A., Kazansky A.Y., Wingate M.T.D. Late Mesozoic tectonics of Central Asia based on paleomagnetic evidence // *Gondwana Res.*, 2010, v. 18, p. 400—419.

Miller E.L., Soloviev A.V., Prokopiev A.V., Toro J., Harris D., Kuzmichev A.B., Gehrels G.E. Triassic river systems and the paleo-Pacific margin of northwestern Pangea // *Gondwana Res.*, 2013, v. 23, p. 1631—1645.

Prokopiev A.V., Toro J., Miller E.L., Gehrels G.E. The paleo-Lena River — 200 m.y. of transcontinental zircon transport in Siberia // *Geology*, 2008, v. 36, № 9, p. 699—702.

Van der Beek P., Delvaux D., Andriessen P.A.M., Levi K.G. Early Cretaceous denudation related to convergent tectonics in the Baikal region, SE Siberia // *J. Geol. Soc. London*, 1996, v. 153, p. 515—523.

Van der Voo R., Van Hinsbergen D.J.J., Domeier M., Spakman W., Torsvik T.H. Latest Jurassic—earliest Cretaceous closure of the Mongol-Okhotsk Ocean: A paleomagnetic and seismological-tomographic analysis // *Late Jurassic margin of Laurasia—A record of faulting accommodating plate rotation* / Eds. T.H. Anderson, A.N. Didenko, C.L. Johnson, A.I. Khanchuk, J.H. Jr. MacDonald. *Geol. Soc. Amer. Special Paper*, 2015, v. 513, p. 1—18.

Yin A., Nie S. A Phanerozoic plinstatic reconstruction of China and its neighboring regions // *The tectonic evolution of Asia*. Cambridge / Eds. A. Yin, T.M. Harrison. Cambridge University Press, 1996, p. 442—485.

Zorin Yu.A. Geodynamics of the western part of the Mongolia-Okhotsk collisional belt, Trans-Baikal region (Russia) and Mongolia // *Tectonophysics*, 1999, v. 306, p. 33—56.

Zorin Y.A., Novoselova M.R., Turutanov E.K., Kozhevnikov V.M. Structure of the lithosphere in the Mongolia-Siberian mountainous province // *J. Geodyn.*, 1990, v. 11, p. 327—342.

*Рекомендована к печати 2 августа 2017 г.
Б.Н. Шурыгиным*

*Поступила в редакцию
15 февраля 2017 г.*