

СЛЕДЫ ПОДПОРНОГО ПАЛЕООЗЕРА В РЕЛЬЕФЕ И ОСАДКАХ ГЛАВНЫХ РЕЧНЫХ ДОЛИН ЮГА ИРКУТСКОГО АМФИТЕАТРА

А.В. Аржанникова, С.Г. Аржанников, В.В. Акулова

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

На территории юга Иркутского амфитеатра широко развиты мощные толщи песчано-глинистых отложений, заполняющих неровности палеорельефа. По поводу происхождения этих отложений существуют разные точки зрения: по мнению одних исследователей, их накопление связано с эоловыми процессами, по мнению других, — они являются осадками подпорного палеоозера. Для уточнения генезиса отложений в зоне предполагаемого подтопления был изучен ряд песчано-глинистых разрезов. Результаты изучения разрезов и лабораторных исследований состава и свойств отложений свидетельствуют в пользу озерного происхождения осадков и резкой смены условий осадконакопления в момент начала формирования палеоозера. Указана вероятная причина подпруживания основных рек — одномоментный сход Бадарминского оползня в долину р. Ангара в результате тектонического события.

Позднекайнозойская тектоника, осадочные отложения, палеоозеро, юг Сибирской платформы.

TRACES OF DAMMED PALEOLAKE ACTIVITY IN THE MAIN VALLEY RELIEF AND FILL IN THE SOUTH OF THE IRKUTSK AMPHITHEATER

A.V. Arzhannikova, S.G. Arzhannikov, and V.V. Akulova

Thick sand-argillaceous deposits filling the paleorelief roughness are widespread in the south of the Irkutsk amphitheater. The origin of these deposits is still debatable: Some researchers relate them to eolian processes, and others consider them sediments of a dammed paleolake. A series of sand-argillaceous sections was studied in order to refine the genesis of deposits in the area of possible flooding. Results of these studies and laboratory analyses of the deposits argue for their lacustrine genesis and a drastic change in sedimentation conditions during the early formation of the paleolake. The tectonically induced instantaneous Badarma landsliding to the Angara River valley is assumed to have caused the damming of the main rivers in the study area.

Late Cenozoic tectonics, sediments, paleolake, southern Siberian Platform

ВВЕДЕНИЕ

Иркутский амфитеатр является южной окраиной Сибирской платформы и находится в пределах Восточно-Саянской перигоренной зоны [Золотарев, 1989]. Неотектонические процессы, протекающие в пределах орогенов, передаются и на платформенные территории. При этом краевые части платформ подвержены наибольшей переработке. Контакт в переходной зоне между Сибирской платформой и Саянским горным массивом имеет надвиговый и сдвиговый характер [Замараев, 1967; Сизых, 2001]. Деформации позднечетвертичных отложений этой территории являются следствием как событий, происходящих в пределах орогена, так и собственных (внутриплатформенных) тектонических движений. Предыдущие наши исследования [Аржанникова, Аржанников, 2005] позволили получить новые данные о проявлении кайнозойской тектоники в пределах юго-западной окраины Сибирской платформы. В разрезах позднеплейстоцен-голоценовых отложений в нижнем течении р. Белая и на левобережье р. Ангара (эти места обозначены белыми треугольниками на рис. 1, А) обнаружены сейсмогенные трещины со смещением слоев, связанные как с местными сейсмическими очагами, так и с сотрясениями от удаленных землетрясений. Однако трещины со смещением присутствуют далеко не во всех разрезах. Часто косвенные литологические признаки, такие как подпорные фации осадков, являются единственными свидетельствами тектонических событий.

Из анализа материалов геологической съемки известно, что на территории Иркутского амфитеатра (в долинах рек Ангара, Иркут, Китой, Белая, Ока и др.) широко развиты мощные толщи песчано-глинистых отложений, заполняющих неровности палеорельефа, которые описываются как эоловые, о чем свидетельствуют грядово-ложбинные (дюноподобные) формы рельефа на их поверхности. Однако генезис их спорный. Впервые в 50-е годы прошлого столетия С.С. Воскресенским были предложены доказательства их озерного происхождения [Воскресенский, 1957]. Его выводы основывались на геоморфологических исследованиях и результатах бурения толщ песчано-глинистых отложений, мощность которых достигала 36 м и более. В рельефе максимальная гипсометрическая граница этих отложений около 450 м. На существование палеоозера на территории Предсаянья также указывали авторы работы [Логачев и др., 1964], их образование связывалось с подпруживанием рек Ангара и Ока в результате импульсивных тектониче-

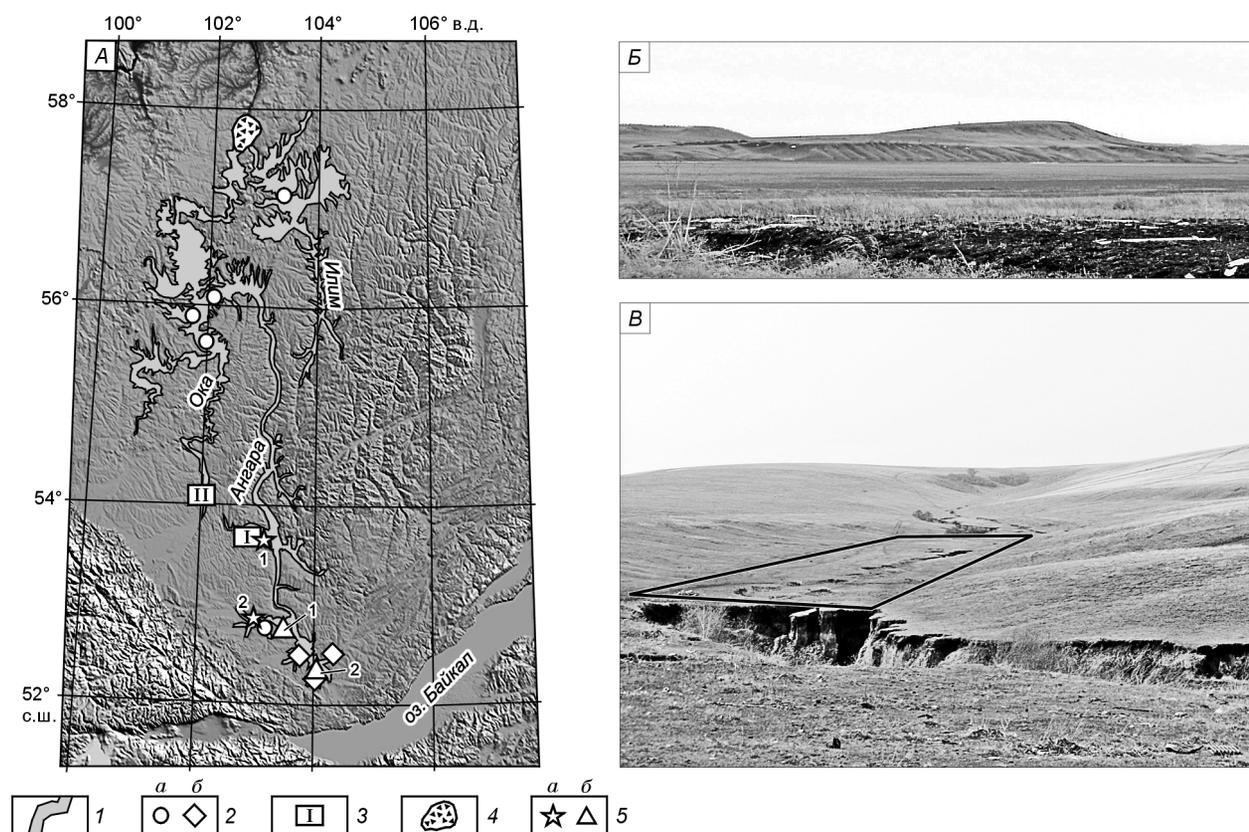


Рис. 1. А — цифровая модель рельефа Иркутского амфитеатра:

1 — область распространения палеозера; 2 — местонахождения толщ озерных отложений по литературным данным: а — [Логачев и др., 1964], б — [Воскресенский, 1957]; 3 — районы работ в зоне предполагаемого подтопления: I — место расположения террасовидных поверхностей на высоте 450 м, II — место расположения описываемых разрезов рыхлых отложений; 4 — Бадарминский оползень; 5 — места обнаружения разрывных деформаций: а — надвигов в коренных и рыхлых отложениях: 1 — Унгинский, 2 — Бельский; б — сейсмогенных трещин в рыхлых отложениях: 1 — в нижнем течении р. Белая, 2 — на левобережье р. Ангара.

Б — террасовидные поверхности в районе Унгинского залива.

В — поверхность осадочных отложений, заполняющих долину палеоводотока.

Субгоризонтальная площадка обведена по периметру черной линией.

ских движений в районе Среднеангарского кряжа. Учитывая, что озерные отложения покрывают 450-метровый гипсометрический уровень, озеро распространялось по долинам вышеназванных рек и их притоков на значительном протяжении (см. рис. 1, А).

В результате исследований в зоне предполагаемого подтопления нами тоже были обнаружены геоморфологические признаки (четко выраженные террасовидные поверхности) существования палеозера. Полевые работы, проведенные по берегам Унгинского залива Братского водохранилища (левый борт р. Ангара), позволили проследить террасовидные поверхности на всем его протяжении на высоте приблизительно 450 м (см. рис. 1, А, район I; рис. 1, Б). Верхняя площадка поверхностей пологонаклонная, шириной до 600 м. Террасовидные поверхности прослеживаются даже в бортах небольших заливов водохранилища и временных притоков и не являются террасами современных рек. Можно предположить, что это сохранившиеся террасы палеозера. По всему левому берегу Братского водохранилища наблюдаются погребенные долины палеопритоков р. Ангара. Поверхность осадков, заполнивших палеорельеф, характеризуется наличием субгоризонтальных площадок в долинах палеоводотоков (см. рис. 1, В). Чтобы определить, золотые или озерные отложения заполняют палеодолины Иркутского амфитеатра, нами были проанализированы разрезы рыхлых образований в зоне предполагаемого подтопления. Результаты анализов и интерпретация данных для двух наиболее характерных разрезов в долине р. Ока представлены ниже.

АНАЛИТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ

Методическая схема изучения разрезов рыхлых отложений состоит из двух этапов: детальная документация, опробование и лабораторные определения показателей состава, состояния и свойств. Комплексные лабораторные исследования, выполненные в Аналитическом центре Института земной коры СО

РАН (г. Иркутск), включают данные по гранулометрическому составу с расчетами коэффициентов микроагрегатности [Рященко, Акулова, 1997], химическому составу, содержанию водорастворимых солей, реакции среды пород (рН), содержанию и составу карбонатов, аморфных полуторных оксидов и показателям физических, физико-химических и прочностных свойств.

Химический состав пород, отражающий валовое содержание оксидов и редких элементов, получен методом рентгеноспектрального флуоресцентного анализа (РФА). Определение основных породообразующих оксидов (SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , $\text{Fe}_2\text{O}_{3(\text{общ})}$, MnO , MgO , CaO , Na_2O , K_2O , P_2O_5), а также отдельных элементов (Cl и $S_{(\text{общ})}$) проведено на многоканальном рентгеновском спектрометре СРМ-25; содержания редких элементов (Cr , Co , V , La , Pb , Zn , Ni , Ba , Nd , Rb , Zr , Sr , Y) — на рентгеновском спектрометре VRA-30 [Ревенко, 1994]. Качественный и количественный составы водорастворимых солей и карбонатов, а также содержание аморфных полуторных оксидов и кремнезема, обменная способность, реакция среды, потери при прокаливании изучались путем химического анализа водных, соляно-кислых и щелочных вытяжек [Методические..., 1977]. Определение показателей физических (плотность, влажность, пористость), физико-химических (пределы пластичности, набухаемость и усадка) и прочностных (углы откоса на воздухе и под водой) свойств отложений выполнялись по стандартным методикам [Ломтадзе, 1990]. Интерпретация полученных результатов позволила уточнить генезис изучаемых отложений.

ИЗУЧЕНИЕ РАЗРЕЗОВ И ИХ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ

Разрез в толще песчаных отложений возле с. Карымское ($54^{\circ}03.562'$ с.ш.; $101^{\circ}54.528'$ в.д.) (см. рис. 1, А, район П), общей мощностью 4.4 м (рис. 2), условно можно разделить на 4 пачки (снизу вверх).

Пачка I (3.85—4.4 м) — отложения представлены переслаивающимися мелко- и среднезернистыми песками зеленоватого цвета. Пески хорошо отсортированные и промытые, горизонтально-слоистые; зерна имеют следы окатанности. Отмечается минимальное содержание водорастворимых солей ($S_{\text{вр}} = 0.17\%$), полуторных оксидов (0.4 %) и карбонатов (до 3.5 %). В химическом составе наблюдается максимальное количество оксида кремния (до 82 %), а среди редких элементов — стронция (до 260 г/т). Установлена средняя плотность сложения (плотность скелета (rd) более 1.77 г/см^3 , коэффициент пористости (e) — 0.540).

Пачка II (3.55—3.85 м) — суглинки темно-коричневые, очень плотные и со значительным содержанием органического вещества (мелкие угольки), пылеватые (содержание пылеватой фракции по данным полудисперсного (стандартного) анализа — 54.6 %), характеризуются скелетно-агрегированной микроструктурой (количество агрегатов — 34.2 %), среднезасоленные ($S_{\text{вр}} = 0.54\%$), карбонатные ($S_{\text{кр}} = 12\%$, преобладает FeCO_3), со слабой физико-химической активностью (емкость обмена грунта 17.8 мг-экв на 100 г вещества). В химическом составе отмечается снижение содержания кремнезема (до 60 %) и увеличение оксидов алюминия (15 %), железа (7 %), магния (3 %) и кальция (2 %). Среди редких элементов наблюдается повышение содержания циркония (до 250 г/т). Основные структурообразующие компоненты: глинистые частицы (17.2 %), полуторные оксиды (12.7 %), карбонаты, гумус

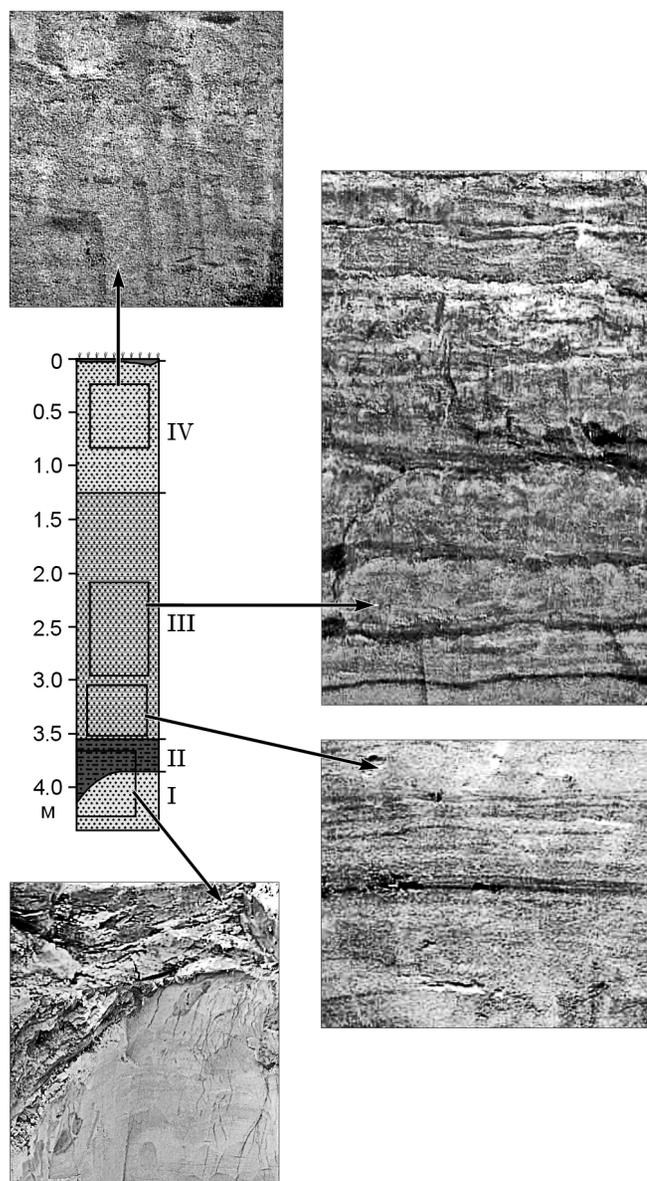


Рис. 2. Схематический разрез и фотографии рыхлых отложений возле с. Карымское.

Римскими цифрами обозначены номера пачек, описанных в тексте.

(до 2%) и водорастворимые соли. Отмечается повышенная плотность сложения ($rd = 1.83 \text{ г/см}^3$, $e = 0.406$), но при этом обнаружена значительная усадка (10.2 %).

Пачка темно-коричневых суглинков деформирована, в соседней стенке разреза она имеет форму клина, прорывающего нижележащие отложения. Деформации могут быть связаны с криогенными процессами — формированием морозобойных клиньев и их заполнением (при протаивании) вышележащими отложениями.

Пачка III (1.25—3.55 м) — пески среднезернистые полимиктовые желтоватого цвета слоистые, переслаивающиеся с песками мелко- и срезнезернистыми беловато-серыми. В верхней части доминируют слои желтоватого песка, а в нижней — беловато-серого. Наблюдается отчетливое осветление песчаной толщи от кровли к подошве, это часто сопровождается укрупнением песчаных зерен и включением дресвы. Горизонтальная и пологонаклонная слоистость обусловлена железненными прослоями песка, встречаются линзы (5—10 см) темно-коричневого цвета в виде самостоятельных „карманов“ растительного детрита. На фоне однородного распределения песчаных фракций в нижней части пачки отмечается повышение содержания крупно- и среднепесчаной. По химическому составу пески близки вышележащей пачке IV (см. ниже). В качестве структурообразующих компонентов выступают карбонаты (до 6 %), полуторные оксиды (до 2 %) и водорастворимые соли (0.18 %). Показатели физического состояния характеризуют среднюю плотность сложения (rd — до 1.75 г/см^3 , $e = 0.500—0.650$). Отмечается повышенная устойчивость песчаных отложений: угол естественного откоса на воздухе $35—37^\circ$, при этом снижение угла откоса под водой составляет лишь 1° .

Пачка IV (0.05—1.25 м) — отложения представлены среднезернистыми песками полимиктового состава с неясно выраженной прерывистой слоистостью, желтоватого цвета с охристыми прожилками вторичного ожелезнения и светло-серыми пятнами карбонатизации. В гранулометрическом составе четко фиксируется тенденция уменьшения (снизу вверх) мелкопесчаной (0.25—0.1 мм) фракции за счет увеличения содержания крупно- (1—0.5 мм) и среднепесчаной (0.5—0.25 мм). Пески карбонатизированные ($S_{\text{кр}}$ — 5—7 %), засоленные ($S_{\text{вр}}$ — 0.24 %). В химическом составе песков преобладают оксиды кремния (до 78 %), алюминия (10%), калия (2.5 %), натрия (1.9 %), железа (1.7 %) и кальция (1.5 %). Содержание редких элементов находится в пределах фоновых значений. Основными структурообразующими компонентами являются карбонаты, полуторные оксиды (до 4 %), гумус ($C_{\text{орг}}$ — 1.2 %) и водорастворимые соли. По плотности пески относятся к рыхлым ($rd = 1.28—1.5 \text{ г/см}^3$, $e = 0.750—1.200$). Значительное уменьшение угла откоса песков под водой (на $5—7^\circ$) также указывает на их недоуплотненность и пониженную устойчивость.

Анализ характера распределения показателей состава и свойств в целом для толщи и отдельных пачек позволил установить общие особенности. К их числу относятся стабильно высокое содержание мелко- и среднепесчаных фракций (>70 %), среднее количество карбонатов (4—7 %) и небольшое — гумуса (до 1 %), слабокислая реакция среды (pH 6.4—6.6) и маловлажное состояние (степень водонасыщения 0.1—0.5).

Детальный анализ состава и свойств отложений выделенных пачек позволил сделать следующие выводы.

Распределение содержания песчаных фракций в вертикальном разрезе носит циклический характер (рис. 3, А). Наиболее четко это фиксируется по мелкопесчаной фракции, так, снизу вверх наблюдается: резкое сокращение (интервал 3.38—4.4 м); практически полное отсутствие (3.7—3.85 м); постепенное увеличение (1.25—3.7 м); значительное уменьшение (0.05—1.25 м). Фактически на графике фиксируются ранне установленные пачки.

Идентичная картина наблюдается в распределении показателей химического состава и содержания структуроформирующих компонентов (см. рис. 3, Б—Г). Так, пески четвертой пачки характеризуются ростом количества полуторных оксидов, карбонатов и гумуса. Песчаные отложения, залегающие ниже (пачка III), отличаются однородным распределением значений вышперечисленных показателей. Суглинки (пачка II) выделяются максимальными значениями всех показателей, а пески первой пачки — резким их уменьшением.

Показатели физического состояния (плотность скелета (rd) и коэффициент пористости (e)) отложений характеризуются также циклическим распределением (снизу вверх): степень их уплотнения вначале увеличивается (пачки I и II), потом резко уменьшается (нижняя часть пачки III), а далее цикл повторяется (рис. 4). При этом пески верхней части разреза характеризуются максимально недоуплотненным состоянием.

Таким образом, на базе комплексной информации о составе, структуре и свойствах отложений выявлен циклический характер их распределения, отражающий генетические особенности выделенных пачек.

Интерпретируя полученные данные, можно говорить о том, что пачка II является, возможно, „палеопочвой“, сформировавшейся в субаэральных условиях. На это указывает повышенное содержание карбонатов (12 %) и полуторных оксидов, привносимых чаще всего грунтовыми водами, а также отсутствие

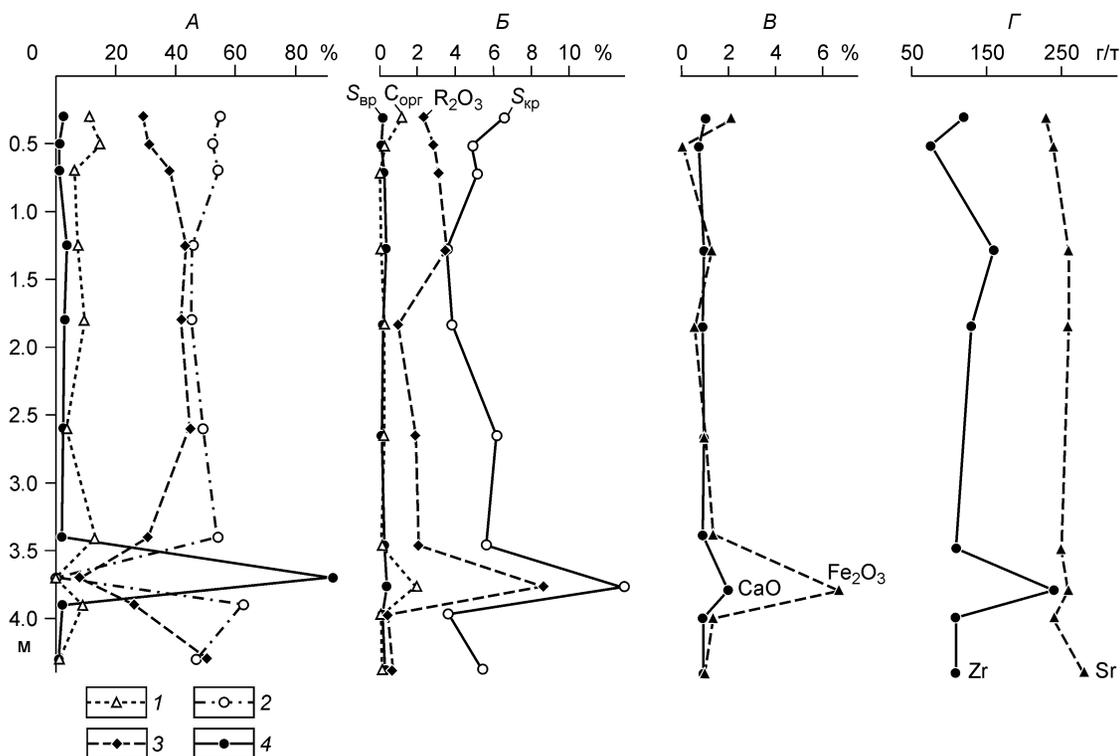


Рис. 3. Распределение показателей состава и свойств в вертикальном разрезе песчаной толщи (разрез у с. Карымское).

A — гранулометрический состав (мм): 1 — 1—0.5, 2 — 0.50—0.25, 3 — 0.25—0.10, 4 — <0.10; Б — содержание карбонатов ($S_{\text{кп}}$), гумуса ($C_{\text{орг}}$), полуторных оксидов (R_2O_3) и водорастворимых солей ($S_{\text{вр}}$); В — содержание оксидов кальция (CaO) и железа (Fe_2O_3); Г — содержание редких элементов — циркония (Zr) и стронция (Sr).

крупнообломочного материала и слоистости. Деформации этих отложений могут быть связаны с криогенными процессами. Пески третьей пачки формировались в водном бассейне, о чем свидетельствуют малое содержание водорастворимых солей, повышенная плотность и незначительное снижение угла естественного откоса под водой (на 1°). По текстурным особенностям (параллельная слоистость, сортированность песков по размеру и цвету, невыдержанность слоев по простираанию, отмытость песков), геоморфологическому положению разреза (вдали от крупных водотоков), большой мощности и распространности песчаных отложений с большой долей вероятности можно утверждать, что эта пачка формировалась в озерных условиях. Плавный переход вверх по разрезу к пачке IV, а также близость некоторых характеристик грунтов третьей и четвертой пачек затрудняют однозначное определение генезиса последней. Текстурные особенности (четвертая пачка почти не имеет слоистости), недоуплотненное состояние и значительное снижение угла естественного откоса под водой (на 5°) могут свидетельствовать о мелководном режиме осадконакопления в условиях увеличения скорости седиментации. Мы предполагаем, что пески нижней части пачки III, имеющие тонкую параллельную слоистость (см. рис. 2), накапливались в относительно глубоководных условиях, а затем, вверх по разрезу, фиксируется постепенное обмеление озера. Момент образования палеоводоёма имеет импульсный характер — перекрытие палеопочвы (пачка II) песками (пачка III) свидетельствует о резкой смене условий осадконакопления. Накопление песков, подстилающих палеопочву (пачка I), происходило в активной гидродинамической обстановке, что подтверждается высокой степенью сортировки материала, окатанности зерен и слоистости.

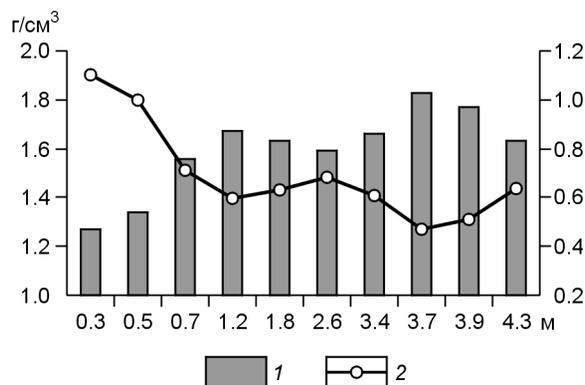


Рис. 4. Распределение плотности скелета (1) и коэффициента пористости (2) в вертикальном разрезе рыхлых отложений (район с. Карымское).

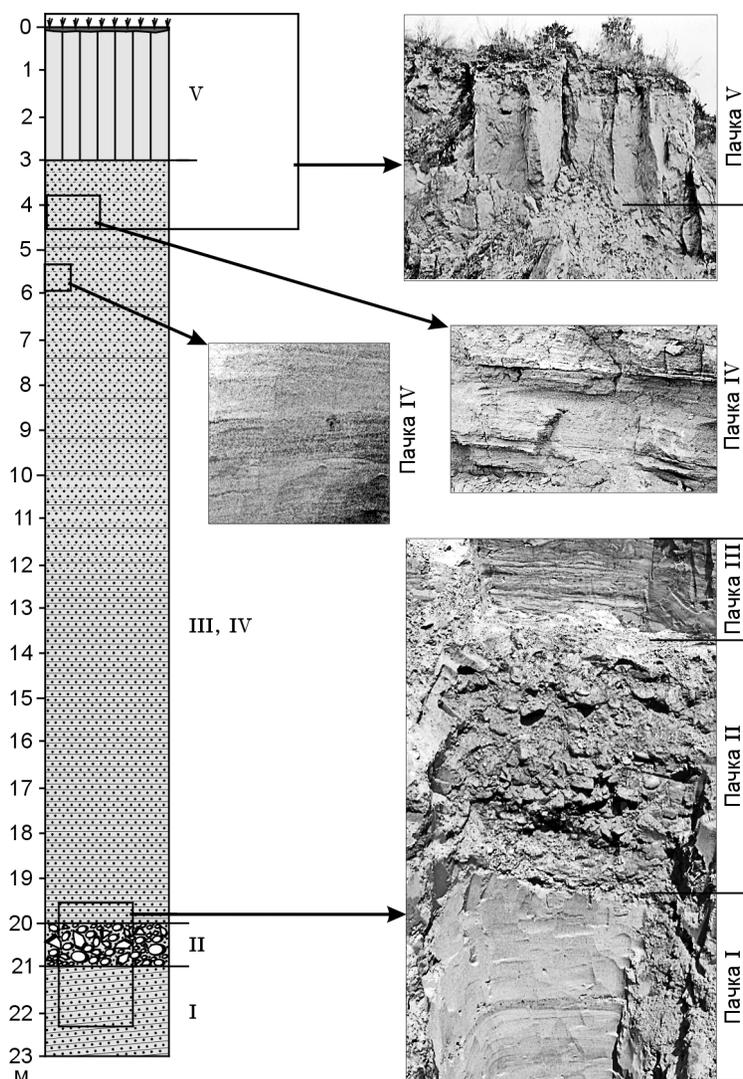


Рис. 5. Схематический разрез и фотографии рыхлых отложений возле пос. Писарево.

Римскими цифрами обозначены номера пачек, описанных в тексте.

В районе Братского водохранилища были обследованы погребенные палеодолины левых притоков рек Ангара и Ока. Изучение разрезов песчано-глинистых отложений, заполняющих палеодолины, также свидетельствует о резкой смене условий осадконакопления с последующим формированием пачки озерных отложений.

Один из характерных разрезов рыхлых отложений (рис. 5), заполнивших палеодолину левого притока р. Ока, вскрыт в карьере возле пос. Писарево (54°01.281' с.ш.; 102°05.467' в.д.) (см. рис. 1, А, район II). При изучении разреза нами было выделено 5 пачек (снизу вверх).

Пачка I (21—23 м) — разрез представлен среднезернистым песком с нечетко выраженной слоистостью с прослоями и линзами более крупнозернистого песка и галечного материала. Текстура косослоистая, слои среднезернистого желтого песка перемежаются с прослоями более грубозернистого песка с включением зерен до 2 мм. Наблюдается также включение отдельных галек окатанных и слабоокатанных обломков осадочных

и метаморфических пород, а также включение линз галечного материала мощностью до 10 см. Пески характеризуются минимальным содержанием водорастворимых солей (менее 0.10 %), карбонатов (до 4 %) и полуторных оксидов (до 1 %). Такая картина может указывать на хорошо промытые отложения аллювиального генезиса.

Пачка II (20—21 м) — пески перекрыты слоем грубообломочного материала, представленного дресвой, гравием, щебнем, галькой, мелкими глыбами и валунами размером от 0.5 до 30 см. Обломки как окатанные, так и почти неокатанные. Пылеватый заполнитель характеризуется засоленностью ($S_{вр}$ — 0.34 %), значительной карбонатизацией (до 24 %), повышенными значениями количества аморфных полуторных оксидов (до 4 %) и гумуса (3.3 %). В химическом составе на фоне аномальных содержаний оксидов железа (до 40 %), кальция (14—20%) и марганца (до 8 %) наблюдается значительное сокращение количества оксидов кремния (до 36 %) и алюминия (2.1 %). Аномальный состав отложений свидетельствует о катастрофическом характере изменений условий формирования этой пачки.

Пачки III и IV (3—20 м). Обстановка осадконакопления пачки III, залегающей выше грубообломочного прослоя, изменилась по сравнению с нижележащими аллювиальными песками (пачка I). Отложения имеют пологоволнистую слоистость. При длине волны порядка 10 см высота волн соизмерима с мощностью слоев, которая не превышает 1 см. В переслаивании участвует мелкозернистый и пылеватый песок серого цвета со следами вторичного ожелезнения. Пески слабозасоленные ($S_{вр}$ — 0.18 %), карбонатизированные (6 %) и уплотненные (плотность скелета 1.64 г/см³ и коэффициент пористости 0.634). Очевидно, что условия осадконакопления этой пачки сменились на более спокойные, приближенные к озерным, хотя пологоволнистая слоистость свидетельствует о достаточной динамике придонных потоков. Вероятно, отложения этой пачки фиксируют стадию формирования палеозера.

Выше по разрезу пологоволнистые отложения постепенно сменяются горизонтально-слоистыми (пачка IV), что свидетельствует о стабилизации седиментационной обстановки, гранулометрический

состав меняется от мелкозернистого и пылеватого песка до суглинков. Суглинки серого цвета чередуются с песчаными прослоями желтоватого цвета. Пески слабозасоленные (до 0.14 %), слабокарбонатизированные (до 4 %), с незначительным количеством полуторных оксидов (1.3 %). Химический состав характеризуется повышенным содержанием оксида кремния (79.3 %), калия (2.85 %) и пониженным — алюминия (7.6 %). Наблюдается повышенная степень плотности песков ($rd = 1.65 \text{ г/см}^3$ и $e = 0.675$). Пылеватые разности характеризуются повышенными значениями засоленности (0.23 %), карбонатности (до 12 %) и меньшей степенью уплотнения ($rd = 1.53 \text{ г/см}^3$, $e = 0.800$). Совокупность признаков состава, характера отложений и текстурных особенностей свидетельствует в пользу озерного происхождения осадков, что также подтверждается результатами приведенных анализов. Поскольку переход от пачки III к пачке IV постепенный, невозможно провести четкую границу между этими отложениями, их общая мощность составляет 17 м. Верхняя граница озерных отложений в этом разрезе находится на абс. высоте 450 м.

Пачка V (0—3 м) — слой субаэральных лессовидных отложений с характерной вертикальной отделенностью. Это пылеватые супеси серовато-белесые (содержание пылеватой фракции по данным полудисперсного анализа — 63.7 %), с агрегированно-скелетной микроструктурой (количество агрегатов — 20.1 %), слабозасоленные ($S_{\text{вр}}$ — 0.23 %), высококарбонатизированные ($S_{\text{кр}}$ — 16 %, преобладает CaCO_3), со слабой физико-химической активностью (емкость обмена грунта 11 мг-экв. на 100 г вещества). Химический состав характеризуется следующими порообразующими оксидами: кремния (56.4 %), алюминия (11 %), кальция (7.1 %), железа (6.2 %), магния (2.5 %), натрия (1.9 %) и калия (1.8 %). Среди редких элементов отмечаются повышенные содержания стронция (330 г/т) и циркония (до 250 г/т). В качестве структурообразующих компонентов выступают: карбонаты (16 %), глинистые частицы (14 %), полуторные оксиды (3.4 %), гумус (0.5 %) и водорастворимые соли. Плотность сложения толщи характеризуется недоуплотненным состоянием: $rd = 1.30 \text{ г/см}^3$, $e = 1.077$. По данным [Воробьева, Медведев, 1984], время образования лессовидных отложений можно отнести к позднему сартану.

Анализируя состав и свойства отложений выделенных пачек, можно утверждать, что их формирование происходило в различных условиях. По структурно-текстурным признакам (сыпучесть, промытость и слоистость) отложения нижней части разреза (пачка I), по всей вероятности, представляют русловую фацию аллювия левого (ныне сухого) притока р. Ока. Потом произошла резкая смена обстановки осадконакопления в результате мощного (тектонического?) события, сопровождавшегося выбросом каменного материала (пачка II). Вслед за тем установились более спокойные условия седиментации с динамичными придонными потоками, характерные для стадии формирования палеоозера (пачка III). Далее, вероятно, существовала озерная обстановка с периодическим обмелением водоема, которая привела к формированию толщи, представляющей собой переслаивание песчаных и суглинистых образований (пачка IV). В дальнейшем произошел постепенный (так как следов размыва на границе не обнаружено) переход водных озерных условий в субаэральные, и накопилась толща лессовидных отложений (пачка V).

Резкая смена условий седиментации с русловых на озерные свидетельствует о формировании подпорного палеоозера в долине реки. Этот момент зафиксирован в разрезе пачкой каменного материала. Очевидно, что выброс такого небольшого количества (пачка мощностью 1 м) каменных масс на этом участке долины р. Ока не мог привести к подпруживанию реки. Отложения этой пачки только фиксируют факт какого-то события, спровоцировавшего сход каменных масс, после которого в долине начало формироваться палеоозеро. Подпруда же образовалась ниже по течению, и, если принять во внимание масштабы распространения следов палеоозера, подпор произошел на более крупной реке — Ангаре, затопив долину как самой Ангары, так и Оки, и других ее притоков.

ПРЕДПОЛАГАЕМЫЕ ПРИЧИНЫ ПОДПОРА

Рассмотрим возможные причины подпора основных рек и образования палеоозера. Проанализировав рельеф долины верхнего течения Ангары мы пришли к выводу, что единственно возможным местом подтопления является район Бадарминского оползня в устье р. Илим (левый приток Ангары), представленного траппами, сползающими по подстилающим их глинистым отложениям. Долина Ангары в этом месте сужена и до создания Усть-Илимского водохранилища представляла собой узкое ущелье, врезанное на 150—200 м, с множеством шивер и перекатов в русле [Тржцинский, 1996]. В настоящее время оползень занимает площадь более 100 км² и находится в состоянии постоянного медленного движения со скоростью отдельных блоков до 0.4—0.7 мм/год [Тржцинский, 1996]. Если предположить, что в определенный период времени при мощном тектоническом событии произошло одномоментное оползание траппов, то, учитывая размеры оползня, вполне могло произойти перекрытие долины Ангары с поднятием воды до уровня 450 м, а ущельеобразный участок долины сформировался позже в результате размыва оползневой дамбы. Морфологический анализ профилей тальвегов рек — притоков Ангары (выше и ниже Бадарминского оползня) показал следующее. Реки, впадающие в Ангару ниже оползня: Межница, Устарова-Карапчанка и др., имеют хорошо выработанный пологий профиль до абсолютных отметок 420—440 м, где на 1.5—3 км длины реки перепад высот составляет 20 м. Реки выше оползня (того же порядка)

начали вырабатывать свой современный профиль в более позднее время (попятная эрозия разработала большинство долин до абс. отметок в 380 м). При этом древние долины этих водотоков были погребены. Это еще один аргумент в пользу подпора р. Ангара на участке Бадарминского оползня.

Очевидно, что единовременный сход огромных оползневых масс при достаточно низкой энергии рельефа должен был быть спровоцирован мощным сейсмическим событием. Землетрясения на юге Сибирской платформы происходят довольно редко, основная масса толчков, сотрясающих эту территорию, является транзитными, пришедшими со стороны Саянского горного массива или Байкальской рифтовой зоны. Однако существуют данные и о местных сейсмических очагах. По инструментальным наблюдениям [Голенецкий, 1998], в Братском районе (междуречье Ангары и Оки) зафиксировано довольно крупное землетрясение (энергетический класс 11.5, $M \sim 4$), произошедшее 26.02.1996 г. В этом же районе ранее (03.02.1977 г.) произошло землетрясение 10-го энергетического класса [Голенецкий, 2001]. В работе [Голенецкий, 1999] представлены исторические данные еще о нескольких землетрясениях с $M \sim 4$ и выше (магнитуда оценивалась по описанным макросейсмическим эффектам) на данной территории. Одно из них произошло непосредственно в районе Бадарминского оползня (вблизи г. Нижнеилимск) 22.11.1864 г., предположительная оценка магнитуды этого землетрясения ~ 4 . Другие события происходили в близлежащих районах: 11.08.1931 г. — район г. Братск; 04.06.1941 г. — ориентировочный эпицентр 55.5° с.ш., 104° в.д. ($M \sim 5$); 25.05.1727 г. — в районе р. Лена между г. Усть-Кут и устьем р. Витим ($M \sim 5$ —5.5) и ряд землетрясений в районе г. Киренск: 05.12.1737 г., в мае 1827 г. ($M \sim 6$), 11.04.1840 г. и 12.09.1856 г. ($M \sim 5$) [Голенецкий, 1999].

То, что сейсмические события подобной силы и даже более мощные происходили на территории Иркутского амфитеатра и раньше не вызывает сомнений. Предыдущие наши исследования [Чипизубов и др., 2001; Аржанникова, Аржанников, 2005] позволили получить новые данные о проявлении кайнозойской тектоники на юге Сибирской платформы. В разрезах позднеплейстоцен-голоценовых отложений в нижнем течении р. Белая и на левобережье р. Ангара обнаружены сейсмогенные трещины со смещением слоев, связанные как с местными сейсмическими очагами, так и с сотрясениями от удаленных землетрясений. При этом рассчитанная магнитуда палеоземлетрясения с возрастом 24 тыс. лет, зафиксированного в виде деформаций в рыхлых отложениях возле пос. Сосновка в нижнем течении р. Белая (место положения показано треугольником с цифрой 1 на рис. 1, А), достигала 6.1 [Чипизубов и др., 2001].

Существуют также другие свидетельства позднекайнозойской тектонической активизации юга Сибирской платформы. Так, на правом берегу Унгинского залива в коренном обнажении террасы был обнаружен надвиг (аз. пад. 255° , $\angle 25^\circ$, штрихи и борозды — по падению) (рис. 6, А; местоположение надвига показано звездочкой с цифрой 1 на рис. 1, А). Видимая амплитуда смещения — 3.5 м. Надвиг выражен зоной дробления мощностью до 20 см. Зона надвига сложена тектонической глиной, цементирующей брекчиевидные обломки. В верхней части надвига разрыв сопровождается складчатые структуры (см. рис. 6, Б) с простиранием шарниров 160 — 165° . Лежащие выше четвертичные отложения (пористые бурые делювиальные суглинки) также вовлечены в деформацию — породы верхней части надвига представляют собой смесь выветрелых и раздробленных аргиллитов (коренных) с включением пористых делювиальных суглинков. Присутствие в деформированных отложениях четвертичных образований может свидетельствовать о том, что подвижка по разрыву произошла во время их накопления.

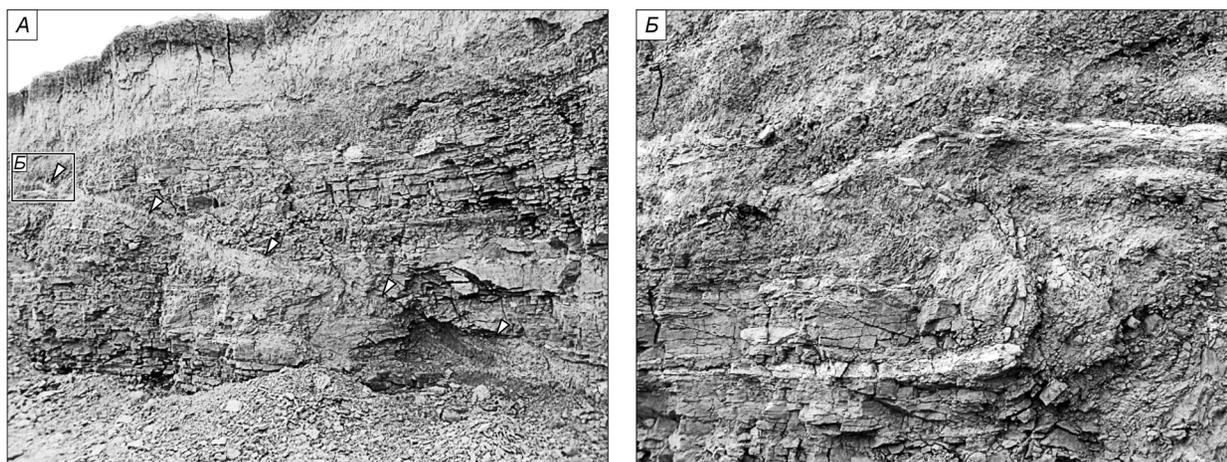


Рис. 6. Надвиг в коренных и рыхлых отложениях на правом берегу зал. Унга.

А — общий вид, Б — сопровождающие надвиг складчатые деформации.

Обращает на себя внимание присутствие на данной территории другого надвига с таким же направлением смещения (постмиоценовый Бельский надвиг [Аржанникова, Аржанников, 2005], местоположение надвига показано звездочкой с цифрой 2 на рис. 1, А). Возможно, оба этих разрыва являются результатом одного и того же тектонического импульса. Конечно, не имея абсолютных датировок данных деформаций, трудно говорить о причинно-следственных связях между ними. Однако само их наличие на территории Иркутского амфитеатра свидетельствует о ее тектонической нестабильности и позволяет рассматривать сейсмические импульсы как возможную причину формирования подпорного палеозера, затопившего древнюю речную сеть.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, результаты наших исследований дают новые аргументы в пользу озерного образования мощных толщ песчано-глинистых отложений, заполняющих неровности палеорельефа юга Иркутского амфитеатра. Полученные данные свидетельствуют о резком изменении условий седиментации в верхнем течении Ангары и ее притоков, произошедшем в результате тектонических движений в южной части Сибирской платформы. Накопление осадков подпорного палеозера происходило в позднем плейстоцене и закончилось к позднесарганскому времени, в течение которого накапливались субэральные лессовидные отложения [Воробьева, Медведев, 1984], перекрывающие озерную пачку. Обнаруженные террасовидные поверхности на высоте 450 м, возможно, являются террасами подпорного водоема. Вероятной причиной образования палеозера мог быть одномоментный сход Бадарминского оползня в долину Ангары с полным ее перекрытием в результате крупного тектонического события, что привело к подпруживанию реки и ее притоков. Образование же грядово-ложбинных форм рельефа на поверхности чехла осадочных отложений, на наш взгляд, не свидетельствует об эоловом происхождении осадков, а является результатом постседиментационных процессов.

Авторы выражают благодарность Б.А. Натальину и двум другим анонимным рецензентам, замечания которых позволили улучшить текст статьи.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ (06-05-64111, 04-05-64460) и Фонда содействия отечественной науке.

ЛИТЕРАТУРА

Аржанникова А.В., Аржанников С.Г. Проявления новейших тектонических деформаций на юге Сибирской платформы // Геология и геофизика, 2005, т. 46 (3), с. 273—279.

Воробьева Г.А., Медведев Г.И. Плейстоцен-голоценовые отложения и почвы археологических памятников юга средней Сибири. Ч. 1. Плейстоцен. Иркутск, Изд-во Иркут. ун-та, 1984, 44 с.

Воскресенский С.С. К стратиграфии четвертичных отложений южной части Среднесибирского плоскогорья (бассейна р. Ангара) // Труды Межведомственного совещания по разработке унифицированных стратиграфических схем Сибири. Л., 1957, с. 26—35.

Голенецкий С.И. Редкое землетрясение на юге Сибирской платформы // Докл. РАН, 1998, т. 363, № 3, с. 392—395.

Голенецкий С.И. Сводка макросейсмических данных о землетрясениях на юге Сибирской платформы // Геология и геофизика, 1999, т. 40 (8), с. 1245—1250.

Голенецкий С.И. Землетрясения юга Сибирской платформы по инструментальным сейсмологическим наблюдениям // Вулканология и сейсмология, 2001, № 6, с. 68—77.

Замараев С.М. Краевые структуры южной части Сибирской платформы. М., Наука, 1967, 247 с.

Золотарев А.Г. Периорогенные территории Советского Союза // Геоморфология, 1989, № 2, с. 26—37.

Логачев Н.А., Ломоносова Т.К., Климанова В.М. Кайнозойские отложения Иркутского амфитеатра. М., Наука, 1964, 195 с.

Ломтадзе В.Д. Физико-механические свойства горных пород. Методы лабораторных исследований. Л., Недра, 1990, 327 с.

Методические рекомендации по определению физико-химических свойств почв и грунтов при инженерно-геологических и мелиоративных изысканиях / Ред. Л.И. Кульчицкий. М., 1977, 68 с.

Ревенко А.Г. Рентгеноспектральный флуоресцентный анализ природных материалов. Новосибирск, Наука, 1994, 264 с.

Рященко Т.Г., Акулова В.В. Проблемы лессоведения юга Восточной Сибири и сопредельных территорий (опыт регионального анализа) // Лессовые просадочные грунты: исследования, проектирование и строительство (Докл. пленарного заседания Междунар. научно-практической конференции). Барнаул, Изд-во Алт. гос. тех. ун-та, 1997, с. 26—45.

Сизых В.И. Шарьяжно-надвиговая тектоника окраин древних платформ. Новосибирск, Изд-во СО РАН, филиал „Гео“, 2001, 154 с.

Тржцинский Ю.Б. Глубокие оползни Восточной Сибири // Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология, 1996, № 5, с. 74—88.

Чипизубов А.В., Аржанникова А.В., Воробьева Г.А., Бердникова Н.Е. Погребенные палеосейсмодислокации на юге Сибирской платформы // Докл. РАН, 2001, т. 379, № 1, с. 101—103.

*Рекомендована к печати 22 июня 2007 г.
В.А. Верниковским*

*Поступила в редакцию 12 мая 2006 г.,
после доработки — 2 мая 2007 г.*