

СЕДИМЕНТОЛОГИЯ И БИОСТРАТИГРАФИЯ

УДК 551.31 (571.513)

О ПРОИСХОЖДЕНИИ ПЕСЧАНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ
В ЮЖНО-МИНУСИНСКОЙ КОТЛОВИНЕ

А.В. Аржанникова, С.Г. Аржанников, В.В. Акулова, Ю.В. Данилова, Б.С. Данилов

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

Работа направлена на решение вопроса о происхождении большого количества песчаных массивов, сконцентрированных в Южно-Минусинской котловине. Изучение песчаных отложений базировалось на полевых и лабораторных исследованиях. Разрезы выбирали таким образом, чтобы вскрыть отложения ребристо-грядовых образований, а также подстилающей поверхности на разных гипсометрических уровнях. Результаты изучения разрезов показали, что пески формировались как в субаэральных, так и в субаквальных условиях. Анализируя работы предшественников, мы пришли к выводу, что формирование мощной толщи песчаных отложений субаквального характера, в том числе и на высоких гипсометрических уровнях, может быть связано с выносом большого количества осадочного материала катастрофическим потоком по долине Енисея, произошедшим в связи с прорывом ледниковой дамбы в Дархатской впадине, предположительно, 17 тыс. лет назад. Вышележащие песчаные отложения, слагающие гряды в современном рельефе, имеют эоловый генезис. Формирование этих гряд происходило в позднем голоцене за счет ветрового переноса и переотложения песков нижележащих пачек.

Изучение разрезов песчаных отложений, генезис осадочных образований, катастрофические водные потоки, эоловые формы рельефа.

THE ORIGIN OF SAND DEPOSITS IN THE SOUTH MINUSA BASIN

A.V. Arzhannikova, S.G. Arzhannikov, V.V. Akulova, Yu.V. Danilova, and B.S. Danilov

The paper deals with the origin of a large number of sand massifs concentrated in the South Minusa basin. The study of the sand deposits was based on field and laboratory work. Cross sections were selected in such a way as to penetrate the deposits of ridgy sands and the underlying surface at different hypsometric levels. Cross-section studies have demonstrated that the sands formed both under subaerial and subaqueous conditions. Analysis of the work of our predecessors has shown that the formation of a thick unit of subaqueous sand deposits, including those at high hypsometric levels, might be related to the removal of large amounts of sediments by catastrophic flooding along the Yenisei River caused by the failure of an ice dam in the Darhad basin at ~17 ka. The overlying sand deposits, which now occur as sand bars, are of eolian genesis. These bars formed in the Late Holocene owing to eolian transportation and redeposition of the underlying sand members.

Study of cross sections of sand deposits, genesis of sedimentary deposits, catastrophic floods, eolian relief

ВВЕДЕНИЕ

Южно-Минусинская котловина входит в систему Минусинских межгорных впадин, расположенную между горными массивами Восточного и Западного Саяна, и Кузнецкого Алатау. Большая часть площади Южно-Минусинской впадины занята равнинным пологохолмистым рельефом с абсолютными отметками 250—500 м и с интенсивным меандрированием рек [История..., 1969] (рис. 1). На протяжении своего развития (начиная с раннего девона) Южно-Минусинская впадина неоднократно становилась как областью аккумуляции, так и областью сноса с развитием эрозионно-денудационных процессов [Вдовин, 1976]. Котловина выполнена девонскими и каменноугольными осадочными породами, нарушенными пликативными и дизъюнктивными деформациями. По данным [Зятькова, 1977], глубина залегания палеозойских пород не превышает 150 м, а верхняя часть осадочного заполнения впадины представлена олигоцен-миоценовыми глинами, плиоценовыми глинами и суглинками с прослоями тор-

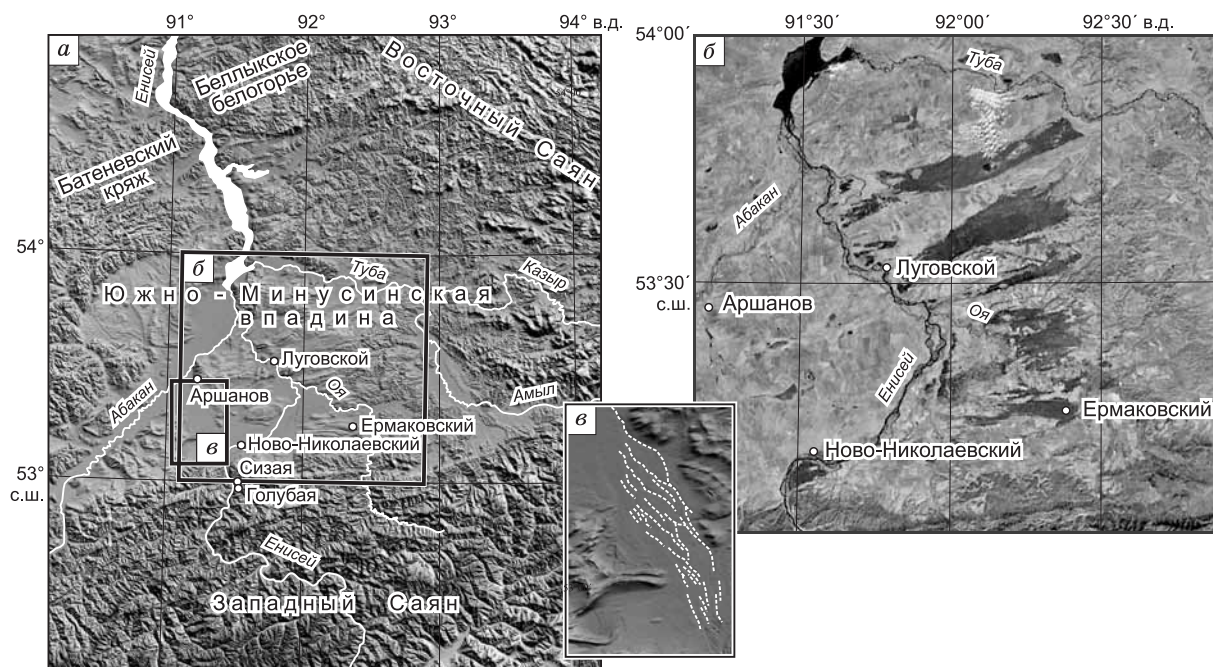


Рис. 1. а — цифровая модель рельефа Южно-Минусинской впадины и ее горного обрамления; **б** — фрагмент космоснимка Landsat, охватывающий область распространения песчаных массивов Южно-Минусинской впадины; **в** — увеличенный фрагмент цифровой модели, демонстрирующий систему палеоканалов стока (белые линии).

Белыми прямоугольниками обозначено местоположение изучаемых разрезов.

фа, нижнечетвертичными выветрелыми галечниками, песками и глинами, среднечетвертичными лессовидными суглинками и супесями и верхнечетвертичными песчано-галечными отложениями I—III террас. Реки в пределах котловины в среднем имеют 3—4 террасовых уровня (I: 10—14 м, II: 15—25 м, III: 30—40 м, IV: 60—70 м) [Зяткова, 1977]. По данным [Ямских, 1993], возраст низов 15—25-метровых террас относится к эпохе раннезырянского оледенения (57—71 тыс. лет), верхов — к каргинской эпохе (24—57 тыс. лет), отложения 4—8- и 8—12-метровых террас датированы сартанским временем (11—24 тыс. лет).

Характерной особенностью рельефа Южно-Минусинской котловины является наличие большого количества песчаных массивов. Фрагмент космоснимка (см. рис. 1, б) охватывает область распространения песков в междуречье Абакана и Енисея, на правом берегу Енисея и в долинах правых его притоков. Они залегают на террасовом комплексе, на склонах и водоразделах. Выделяются как закрепленные растительностью массивы, так и переиваемые пески. В плане они представлены линейными структурами и изометричными полями. При большом разнообразии форм массивов выделяется линейная восток-северо-восточная их ориентация (см. рис. 1, б). Песчаные массивы достигают в длину 60 км при максимальной ширине 10 км. Общая площадь местонахождений песчаных массивов составляет более 6000 км².

Широкомасштабное распространение песчаных массивов на разных гипсометрических уровнях Южно-Минусинской впадины свидетельствует о неординарных процессах, происходивших на последних этапах развития рельефа. Их форма и ориентация, макро- и микрорельеф поверхности, а также площадь распространения свидетельствуют о крупном энергетическом вкладе при их формировании. Происхождение такого количества песка и аномальная концентрация в Южно-Минусинской котловине ставит вопрос о его источниках. Возможно, что пески изначально могли быть результатом ледниковой деятельности в Западном Саяне. Однако ледники в долинах хребтов, примыкающих к впадине с юга, в плейстоцене были столь незначительными [Гросвальд, 1965], что не могли формировать зандровые пески в таких объемах. Ледники западного склона Восточного Саяна были намного крупнее, однако гидросеть, приуроченная к ледниковым долинам, транспортировала и отлагала осадки гораздо севернее основного поля развития песков. Мел-палеогеновые коры выветривания, сравнительно широко распространенные в пределах Южно-Минусинской впадины и ее горного обрамления, имеют каолини-

то-глинистый состав [История..., 1969] и тоже не могут быть источником песчаных отложений. Частично к решению вопроса о возрасте и генезисе песков, расположенных в долинах рек Южно-Минусинской впадины, подошел А.Ф. Ямских [1993]. На основе анализа фаунистических находок, археологических данных и радиоуглеродного датирования А.Ф. Ямских [1993] пришел к заключению, что накопление бугристых песков, перекрывающих палеоповерхность вторых террас как в Южно-Минусинской котловине, так и ниже по течению Енисея, происходило в позднем голоцене, и связано оно с повышением уровня рек в фазы похолодания и роста увлажнения. В то же время остается открытым вопрос о песках, расположенных на более высоких гипсометрических уровнях. В некоторых местах разница с урезом Енисея достигает 250 м.

В связи с поставленным вопросом нами была изучена серия разрезов в песчаных массивах на низких и высоких гипсометрических уровнях (местоположение разрезов см. на рис. 1) с целью определения генезиса и возраста песков Южно-Минусинской котловины.

ИЗУЧЕНИЕ РАЗРЕЗОВ ПЕСЧАНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ

Изучение песчаных отложений базировалось на полевых и лабораторных исследованиях. Разрезы выбирали таким образом, чтобы вскрыть отложения ребристо-грядовых образований (разрезы Аршанов и Ново-Николаевский), а также подстилающей поверхности (Ермаковский и Луговской).

Разрез Аршанов (N 53°26,776', E 91°11,370', alt. 303 м).

Разрез расположен в районе пос. Аршанов, где песчаные гряды, имеющие простирание 230°, залегают на 20-метровой террасе р. Абакан. Разрез вскрыт вкрест простирания одной из гряд и представлен преимущественно мелкозернистыми песками (рис. 2, А). Визуально в разрезе выделяются три пачки. Первая пачка (0.05—0.40 м) сложена слабогумусированным песком, плохо сортированным, светло-коричневым. Зерна слабо окатаны, слоистость пачки неотчетливая. Вторая пачка (0.4—2.3 м) представляет собой переслаивание сыпучего, хорошо сортированного серовато-желтого и сероватого, более темного, песка. Темноцветные слои по простиранию меняют мощность, границы их прямолинейные, отчетливые. Зерна более окатанные, чем в первой пачке. В третьей пачке (2.3—3.0 м) — песок несортированный, пылеватый, слабогумусированный, с включениями дресвы, светло-коричневый с кремовым оттенком. Зерна не окатаны. В интервале 2.3—2.7 м фиксируются криогенные деформации (псевдоморфозы по морозобойным клиньям). В верхней части этой пачки найдены угловатые, обработанные ветром обломки коренных пород с корродированной поверхностью (ветрогранники), а также фрагменты керамических изделий древнего человека. Поверхность нижней пачки горизонтальная, тогда как вышележащие слои имеют падение согласно современному рельефу (наклону гряды). Вскипание соляной кислоты происходит на уровне первой и третьей пачки, свидетельствуя о высокой степени карбонатизации отложений.

В каждой пачке разреза было отобрано по несколько образцов (местоположение образцов см. на рис. 2, А), проведен гранулометрический анализ и анализ химического состава (табл. 1, 2). По результатам анализов установлены общие особенности песчаной толщи: песок мелкий (преобладает фракция 0.25—0.10 мм), иногда с примесью среднезернистого материала, частицы слабо окатаны, наблюдаются интервалы с повышенным количеством темноцветных минералов и включением щебенки и дресвы; по степени неоднородности гранулометрического состава пески однородные (коэффициент неоднородности — 2.0—2.7); отмечается очень низкая физико-химическая активность (емкость катионного обмена 3.0—5.5 мг-экв), нейтральная реакция среды (рН = 6.8—7.2), средняя плотность сложения (коэффициент пористости 0.680—0.700) и маловлажное состояние (природная влажность 2—3 %). В качестве основных структурообразующих компонентов выступают карбонаты ($S_{кр}$ — 4.95—21.55 %, преобладает $MgCO_3$), полуторные оксиды (R_2O_3 — 0.50—5.55 %), кремнезем (SiO_2 — 1.25—2.10 %) и водорастворимые соли ($S_{вр}$ — 0.26—0.36 %).

Распределение показателей гранулометрического и химического составов песков в вертикальном разрезе представлено на рис. 3, А.

Характер распределения представленных показателей также позволяет разделить толщу на три пачки (сверху вниз): первая (0.05—0.40 м) — песок мелкий, карбонатизированный ($S_{кр}$ — 21.6 %, преобладает $MgCO_3$); вторая (0.4—2.3 м) — переслаивание песка разного цвета, темные прослои сложены менее сортированным песком, чем светлые, по химическому составу здесь отмечаются минимальные значения показателей; и третья (2.3—3.0 м) — песок пылеватый (отмечается максимальное количество частиц фракции менее 0.1 мм — 20.5 %) с включениями дресвы, неоднородный (коэффициент неоднородности 3.6), карбонатизированный ($S_{кр}$ — до 16.7 %, преобладает $MgCO_3$), со значительным количеством полуторных оксидов (R_2O_3 — до 5.6 %) и повышенными значениями потери при прокаливании (п.п.п. — до 5.26 %).

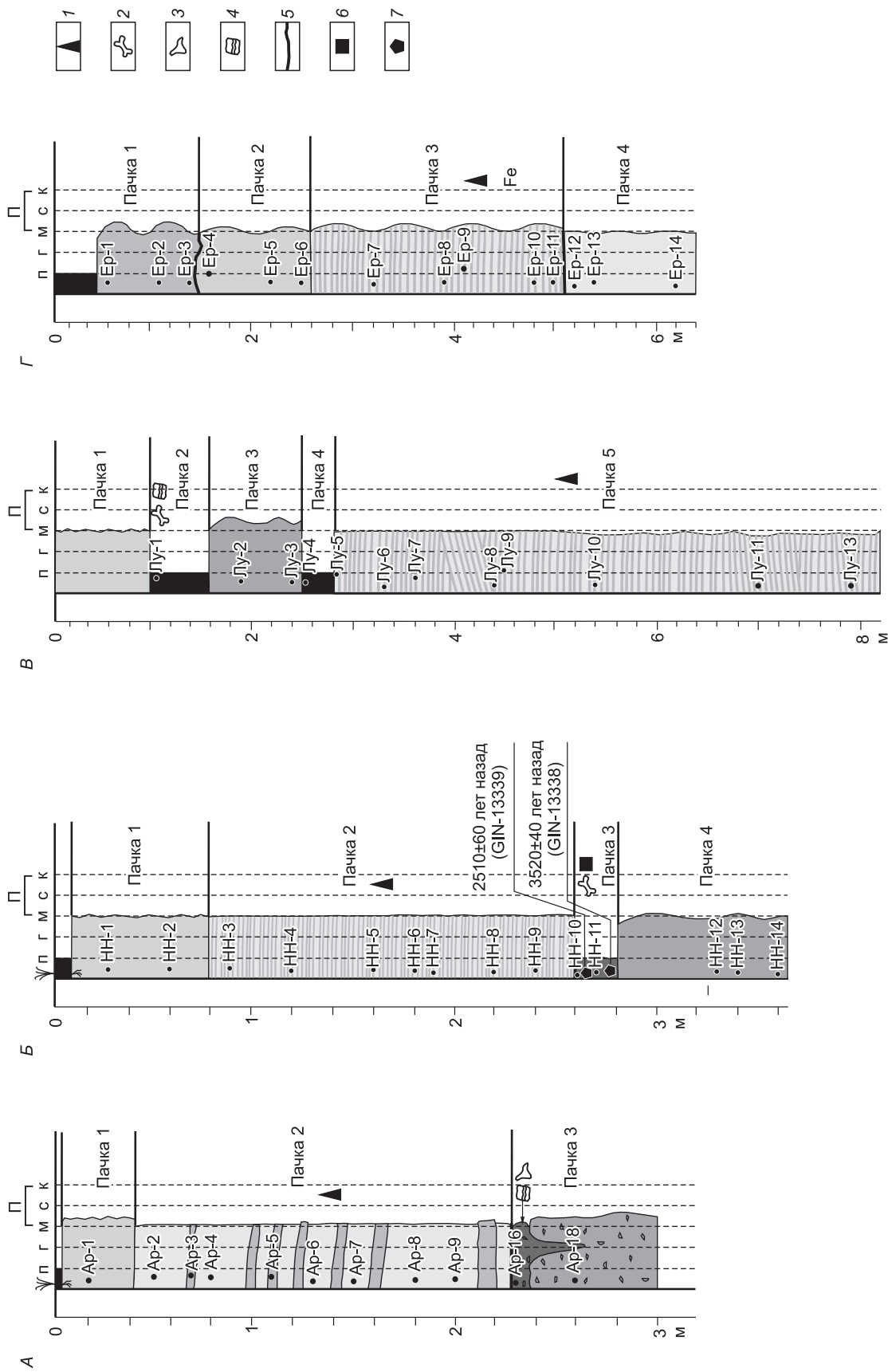


Рис. 2. Разрезы: А — Аршанов; Б — Ново-Николаевский; В — Луговской; Г — Ермаковский.

1 — сортированные осадки; 2 — кости животных; 3 — ветрогранныки; 4 — осколки керамики; 5 — разрыв или перерыв в осадконакоплении; 6 — угли; 7 — образец для радиоуглеродного датирования. П — песок (м — мелко-, с — средне-, к — крупнозернистый); п — почва; г — глина, суглинок.

Таблица 1. Результаты гранулометрического анализа отложений изученных разрезов, %

| Номер образца | Глубина отбора, м | Фракция 0.50—0.25 мм | Фракция 0.25—0.10 мм | Фракция < 0.1 мм |
|---------------|-------------------|----------------------|----------------------|------------------|
| Ар-1 | 0.2 | 24.6 | 69.2 | 6.2 |
| Ар-2 | 0.5 | 8.1 | 81.4 | 10.5 |
| Ар-3 | 0.7 | 4.7 | 86.3 | 9.0 |
| Ар-4 | 0.8 | 5.8 | 84.9 | 9.3 |
| Ар-5 | 1.1 | 18.4 | 76.6 | 5.0 |
| Ар-6 | 1.3 | 5.0 | 82.4 | 12.6 |
| Ар-7 | 1.5 | 5.5 | 77.6 | 16.9 |
| Ар-8 | 1.8 | 7.6 | 80.1 | 12.3 |
| Ар-9 | 2.0 | 6.1 | 84.7 | 9.2 |
| Ар-16 | 2.3 | 18.2 | 62.1 | 19.7 |
| Ар-18 | 2.6 | 47.8 | 31.7 | 20.5 |
| НН-1 | 0.3 | 4.5 | 68.9 | 26.6 |
| НН-2 | 0.6 | 4.4 | 77.0 | 18.6 |
| НН-3 | 0.9 | 4.5 | 85.0 | 10.5 |
| НН-4 | 1.2 | 11.5 | 78.1 | 10.6 |
| НН-5 | 1.6 | 7.1 | 77.5 | 8.8 |
| НН-6 | 1.8 | 6.9 | 80.6 | 12.5 |
| НН-7 | 1.9 | 3.4 | 87.9 | 8.7 |
| НН-8 | 2.2 | 6.3 | 84.6 | 9.1 |
| НН-9 | 2.4 | 12.1 | 76.8 | 11.1 |
| НН-10 | 2.6 | 5.4 | 91.3 | 3.3 |
| НН-11 | 2.7 | 11.6 | 76.8 | 11.6 |
| НН-12 | 3.3 | 10.0 | 74.2 | 15.8 |
| НН-13 | 3.4 | 6.7 | 74.6 | 18.7 |
| НН-14 | 3.6 | 15.9 | 72.3 | 11.8 |
| Лу-1 | 1.1 | 1.6 | 55.3 | 43.1 |
| Лу-2 | 1.9 | 8.6 | 84.4 | 7.0 |
| Лу-3 | 2.4 | 36.2 | 58.9 | 4.9 |
| Лу-4 | 2.6 | 0.5 | 10.7 | 88.8 |
| Лу-5 | 2.8 | 3.3 | 79.8 | 16.9 |
| Лу-6 | 3.2 | 2.2 | 78.4 | 19.4 |
| Лу-7 | 3.6 | 6.0 | 84.2 | 9.8 |
| Лу-8 | 4.3 | 10.9 | 75.4 | 13.7 |
| Лу-9 | 4.5 | 2.3 | 62.8 | 34.9 |
| Лу-10 | 5.4 | 2.1 | 64.3 | 33.6 |
| Лу-11 | 7.0 | 0.6 | 77.0 | 22.4 |
| Лу-13 | 7.9 | 1.5 | 63.7 | 34.8 |
| Ер-1 | 0.6 | 34.4 | 51.7 | 13.9 |
| Ер-2 | 1.1 | 27.6 | 52.0 | 20.4 |
| Ер-3 | 1.4 | 25.0 | 54.5 | 20.5 |
| Ер-4 | 1.6 | 1.0 | 76.9 | 22.1 |
| Ер-5 | 2.2 | 9.3 | 71.2 | 19.5 |
| Ер-6 | 2.5 | 14.0 | 69.8 | 16.2 |
| Ер-7 | 3.2 | 39.4 | 50.7 | 9.9 |
| Ер-8 | 3.9 | 35.1 | 62.1 | 2.8 |
| Ер-9 | 4.1 | 14.9 | 77.1 | 8.0 |
| Ер-10 | 4.8 | 26.9 | 67.8 | 5.3 |
| Ер-11 | 5.0 | 1.8 | 74.1 | 24.1 |
| Ер-12 | 5.2 | 1.3 | 88.0 | 10.7 |
| Ер-13 | 5.4 | 0.0 | 74.5 | 25.5 |
| Ер-14 | 6.2 | 0.0 | 70.2 | 29.8 |

Структурные особенности разреза, а также установленный характер распределения показателей гранулометрического и химического составов отложений позволяет говорить о предполагаемых условиях осадконакопления.

Так, для первой (0.05—0.40 м) и верхней части третьей (2.3—2.6 м) пачек вышеперечисленные особенности: гумусированность, пылеватость, повышенные значения содержаний структуроформирующих компонентов, а также разнородность материала и отсутствие слоистости позволяют говорить о субазральном способе их накопления без значительного участия ветрового переноса. При этом фиксируется перерыв в осадконакоплении на границе второй и третьей пачки (на палеоповерхности обнаружены ветрогранники, для ветровой обработки которых необходим значительный временной интервал). Морозобойные клинья, формировавшиеся с этой поверхности, а также вскипание соляной кислоты на уровне кровли третьей пачки свидетельствуют о сартанском времени ее формирования (последний этап ледникового периода (10—24 тыс. лет), характеризующийся высоким содержанием карбонатов в осадочных отложениях). Поскольку исследования коснулись только верхней части пачки 3, вышеизложенная интерпретация касается лишь заключительного этапа ее формирования. Почвообразование, криогенез и карбонатизация могут являться постседиментационными процессами, наложенными на отложения другой седиментологической обстановки. Как вариант — на отложения гляциальных суперпаvoudков, для которых характерно наличие в пылеватых отложениях дресвы и щебня, переносимых на большие расстояния во взвешенном состоянии без окатывания.

Вышележащая вторая пачка характеризуется отсутствием криогенных деформаций и ярко выраженной слоистостью отложений. Пески во второй пачке более окатаны и сортированы, чем в первой и в третьей (преобладание песка одной фракции в пробах более 75 %). Залегание слоев наклонное, согласно морфологии песчаной гряды. Вышеперечисленные признаки свидетельствуют об эоловом происхождении данной толщи. Именно она формирует данную серию гряд на поверхности 20-метровой террасы р. Абакан. Примечательно, что в настоящее время процесс ветрового переноса стабилизировался, и преобладающим снова стало делювиальное осадконакопление (верхняя пачка).

Разрез Ново-Николаевский (N 53°09,463', E 91°32,686', alt. 323 м).

Разрез расположен вблизи одноименного поселка в левом борту р. Енисей на 25-метровой террасе. На поверхности террасы наблюдаются гряды восток-северо-восточного простирания. Зачисткой вскрыта толща песчаных отложений в центральной части одной из гряд.

Таблица 2. Результаты химического анализа солянокислой, щелочной и водной вытяжки осадочных оглозней изученных разрезов

| Номер образца | П.п.п. | М.н.о. | R ₂ O ₃ | SiO ₂ | Fe ₂ O ₃ | SO ₃ | CaO | MgO | CaCO ₃ | MgCO ₃ | FeCO ₃ | S _{вр} | Al ₂ O ₃ | ЕКО | HCO ₃ ⁻ | Cl ⁻ | SO ₄ ⁻⁻ | Ca ⁺⁺ +Mg ⁺⁺ | Na ⁺ +K ⁺ | S _{вр} | pH |
|---------------|--------|--------|-------------------------------|------------------|--------------------------------|-----------------|------|-----|-------------------|-------------------|-------------------|-----------------|--------------------------------|------|-------------------------------|-----------------|-------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|-----------------|-----|
| Ар-1 | 1.32 | 80.1 | 0.5 | 1.8 | 1.6 | 3.98 | 3.36 | 6.8 | 5.98 | 42.99 | 2.58 | 21.55 | 0.69 | 5.5 | 0.039 | 0.014 | 0.14 | 0.032 | 0.054 | 0.26 | 6.8 |
| Ар-3 | 2.06 | 85.3 | 0.9 | 1.5 | 1 | 3.53 | 2.24 | 2.8 | 3.99 | 5.35 | 1.61 | 10.95 | 0.64 | 3.5 | 0.063 | 0.014 | 0.189 | 0.032 | 0.087 | 0.353 | 7 |
| Ар-6 | 1.87 | 84.65 | 2.15 | 1.75 | 0.5 | 3.74 | 3.36 | 1.6 | 5.98 | 3.06 | 0.8 | 9.84 | 0.66 | 5.5 | 0.049 | 0.019 | 0.158 | 0.024 | 0.079 | 0.3 | 7 |
| Ар-8 | 1.55 | 86 | 3.05 | 1.6 | 0.6 | 4.73 | 2.24 | 0 | 3.99 | 0 | 0.96 | 4.95 | 0.76 | 4 | 0.054 | 0.021 | 0.145 | 0.016 | 0.084 | 0.293 | 6.8 |
| Ар-9 | 1.63 | 85.8 | 3.05 | 1.25 | 0.25 | 4.22 | 2.24 | 1.2 | 3.99 | 2.29 | 0.4 | 6.68 | 1.08 | 3.5 | 0.063 | 0.02 | 0.178 | 0.024 | 0.094 | 0.347 | 6.8 |
| Ар-16 | 2.06 | 86 | 2.4 | 1.25 | 0.5 | 3.88 | 2.24 | 1.2 | 3.99 | 2.29 | 0.8 | 7.08 | 0.52 | 3 | 0.098 | 0.016 | 0.169 | 0.024 | 0.1 | 0.358 | 6.8 |
| Ар-18 | 5.26 | 73.1 | 5.55 | 2.1 | 0.95 | 4.73 | 3.36 | 4.8 | 5.98 | 9.17 | 1.52 | 16.67 | 0.76 | 5.5 | 0.122 | 0.024 | 0.15 | 0.04 | 0.087 | 0.362 | 7.2 |
| НН-1 | 3.76 | 84 | 2 | 2.7 | 0.15 | 3.26 | 2.89 | 1.2 | 4.98 | 2.3 | 0.24 | 7.52 | 1.04 | 8.5 | 0.029 | 0.015 | 0.169 | 0.056 | 0.038 | 0.293 | 6.6 |
| НН-2 | 1.8 | 81.45 | 5.75 | 3.1 | 0.15 | 2.67 | 2.24 | 2.4 | 3.99 | 4.58 | 0.24 | 8.81 | 0.8 | 10 | 0.022 | 0.021 | 0.188 | 0.016 | 0.075 | 0.311 | 6.8 |
| НН-3 | 2.58 | 84.8 | 2 | 2.9 | 0.15 | 3.05 | 3.92 | 0 | 6.98 | 0 | 0.24 | 7.22 | 0.94 | 5 | 0.042 | 0.021 | 0.137 | 0.032 | 0.058 | 0.269 | 7 |
| НН-6 | 4.47 | 84.22 | 2.25 | 2.5 | 0.3 | 2.23 | 2.8 | 0.8 | 4.98 | 1.52 | 0.48 | 6.98 | 1.02 | 6 | 0.054 | 0.023 | 0.155 | 0.072 | 0.026 | 0.303 | 7 |
| НН-8 | 2.39 | 82.6 | 1.4 | 2.7 | 0.15 | 4.46 | 4.48 | 0.8 | 7.97 | 1.52 | 0.24 | 9.73 | 0.6 | 6 | 0.044 | 0.016 | 0.178 | 0.024 | 0.084 | 0.324 | 7 |
| НН-10 | 5.32 | 80 | 3.85 | 3 | 0.3 | 2.98 | 1.68 | 2.8 | 2.99 | 5.35 | 0.48 | 8.82 | 0.35 | 14 | 0.61 | 0.021 | 0.219 | 0.032 | 0.105 | 0.407 | 7 |
| НН-11 | 7.88 | 76.14 | 4 | 3.75 | 0.5 | 2.67 | 3.36 | 1.2 | 5.98 | 2.3 | 0.8 | 9.08 | 0.71 | 28.5 | 0.056 | 0.027 | 0.191 | 0.032 | 0.094 | 0.372 | 6.8 |
| НН-13 | 3.9 | 82.2 | 2.15 | 3.45 | 0.15 | 2.78 | 5.04 | 0 | 8.97 | 0 | 0.24 | 9.21 | 0.9 | 7.5 | 0.059 | 0.031 | 0.217 | 0.072 | 0.064 | 0.414 | 7 |
| НН-14 | 3.84 | 82.5 | 2.35 | 2.75 | 0.15 | 2.33 | 5.04 | 0 | 8.97 | 0 | 0.24 | 9.21 | 0.67 | 12.5 | 0.051 | 0.023 | 0.138 | 0.032 | 0.064 | 0.282 | 7 |
| Лу-1 | 8.09 | 68.15 | 3.75 | 2.75 | 1.6 | 7.72 | 3.36 | 3.6 | 5.98 | 6.88 | 2.58 | 15.44 | 0.38 | 9 | 0.117 | 0.017 | 0.151 | 0.12 | 0 | 0.346 | 7.2 |
| Лу-2 | 2.08 | 85 | 3 | 1.6 | 0.2 | 3.94 | 2.8 | 1.2 | 4.98 | 2.29 | 0.32 | 7.59 | 0.65 | 5.5 | 0.122 | 0.026 | 0.11 | 0.064 | 0.042 | 0.303 | 6.8 |
| Лу-4 | 2.56 | 75.6 | 7.05 | 1.8 | 0.25 | 7 | 3.36 | 1.6 | 5.98 | 3.06 | 0.4 | 9.44 | 0.56 | 4 | 0.098 | 0.024 | 0.184 | 0.056 | 0.076 | 0.389 | 7 |
| Лу-6 | 2.53 | 80 | 1.7 | 2 | 1 | 7.07 | 2.24 | 2.4 | 3.99 | 4.58 | 1.61 | 10.18 | 0.47 | 5.5 | 0.098 | 0.024 | 0.122 | 0.032 | 0.074 | 0.301 | 7 |
| Лу-8 | 2.76 | 82.6 | 2.9 | 3.7 | 0.75 | 1.58 | 4.48 | 0 | 7.97 | 0 | 1.2 | 9.17 | 0.73 | 7 | 0.059 | 0.018 | 0.156 | 0.024 | 0.081 | 0.309 | 7 |
| Лу-9 | 2.99 | 80.1 | 1.75 | 2.5 | 0.5 | 2.54 | 4.48 | 4.4 | 7.97 | 8.4 | 0.8 | 17.17 | 0.92 | 5 | 0.044 | 0.016 | 0.179 | 0.056 | 0.048 | 0.321 | 7 |
| Ер-1 | 1.77 | 86.1 | 4.45 | 1.75 | 0.2 | 3.26 | 1.12 | 1.2 | 1.99 | 2.29 | 0.32 | 4.6 | 0.74 | 6 | 0.063 | 0.028 | 0.138 | 0.008 | 0.1 | 0.306 | 6.2 |
| Ер-3 | 2.6 | 80 | 4.1 | 2.2 | 0.5 | 3.02 | 2.24 | 5.2 | 3.99 | 9.93 | 0.8 | 10.73 | 1.02 | 5 | 0.059 | 0.025 | 0.109 | 0.008 | 0.081 | 0.253 | 6.4 |
| Ер-5 | 3.41 | 76.28 | 4.8 | 2.5 | 1.25 | 3.7 | 6.16 | 1.2 | 10.96 | 2.29 | 2.01 | 15.26 | 0.55 | 6 | 0.107 | 0.021 | 0.153 | 0.032 | 0.09 | 0.35 | 6.6 |
| Ер-7 | 2.16 | 85.8 | 2.95 | 1.3 | 0.2 | 3.57 | 3.36 | 0 | 5.98 | 0 | 0.32 | 6.3 | 0.54 | 5 | 0.112 | 0.03 | 0.137 | 0.016 | 0.108 | 0.347 | 6.6 |
| Ер-9 | 2.57 | 80.15 | 3.8 | 1.9 | 0.2 | 3.74 | 5.04 | 2 | 8.97 | 3.72 | 0.32 | 13.01 | 0.55 | 4 | 0.122 | 0.024 | 0.104 | 0.024 | 0.084 | 0.297 | 6.6 |
| Ер-10 | 2.43 | 83 | 4 | 2.25 | 0.35 | 1.99 | 4.48 | 1.2 | 7.97 | 2.29 | 0.56 | 10.82 | 0.8 | 4.5 | 0.122 | 0.021 | 0.13 | 0.024 | 0.094 | 0.33 | 6.6 |
| Ер-12 | 5.42 | 75.8 | 4.3 | 2.3 | 1 | 3.7 | 2.8 | 4 | 4.98 | 7.64 | 1.61 | 14.23 | 0.5 | 8 | 0.132 | 0.024 | 0.153 | 0.024 | 0.111 | 0.378 | 6.6 |
| Ер-13 | 3.95 | 75.2 | 4.65 | 2.5 | 1 | 3.26 | 5.6 | 3.2 | 9.97 | 6.11 | 1.61 | 17.69 | 0.51 | 4 | 0.112 | 0.021 | 0.102 | 0.032 | 0.068 | 0.279 | 6.6 |
| Ер-14 | 3.45 | 78.4 | 4.25 | 2.4 | 0.5 | 3.29 | 6.72 | 0 | 11.96 | 0 | 0.8 | 12.76 | 0.35 | 15.5 | 0.122 | 0.022 | 0.123 | 0.016 | 0.101 | 0.323 | 6.8 |

Примечание. П.п.п. — потери при прокаливании; м.н.о. — минеральный нерастворимый остаток; S_{вр} — общее содержание карбонатов; ЕКО — емкость катионного обмена, мг-экв на 100 г вещества; S_{вр} — общее содержание водорастворимых солей, %.

В разрезе визуально наблюдаются четыре пачки (см. рис. 2, *Б*). Первая пачка (0.1—0.8 м) представлена плохо сортированным песком пылеватый и мелким с включением отдельных зерен более крупных фракций. Песок гумусированный, желтовато-серого цвета с корешками современной растительности. Зерна слабоокатанные, текстура однородная, слоистости не наблюдается. Вторая пачка (0.8—2.6 м) представлена переслаиванием рыхлого мелкозернистого песка серовато-желтого и коричневатого-желтого цвета. Песок более сортированный, чем в первой пачке, зерна окатанные и слабоокатанные. Пески этой пачки формируют в рельефе гряды, нижележащие отложения относятся к поверхностям террасы. Пачка 3 (2.6—2.8 м) — погребенный почвенный горизонт. Почва имеет достаточно четкую верхнюю границу, она насыщена угольками, и в ней найдены многочисленные остатки костей разных животных. Проведенное радиоуглеродное датирование почвы (3520 ± 40 лет ((ГИН № 13338)) и костей животных (2510 ± 60 лет ((ГИН № 13339))) показало, что формирование этого почвенного горизонта происходило во второй половине голоцена. Палеопочва подстилается песчаными отложениями пачки 4 (2.8—3.6 м). Пачка представлена песками плохо сортированными (от тонко- до среднезернистых с преобладанием мелкозернистых), слабоокатанных, с однородной текстурой, серовато-коричневого цвета. В верхней части пески гумусированы за счет процессов почвообразования.

Общие особенности осадочных отложений данного разреза по результатам анализов гранулометрического и химического составов (см. табл. 1, табл. 2) следующие. Песчаная толща сложена мелкими (содержание фракции 0.25—0.10 мм более 70 %) песками; выделяются отдельные слои с повышенным количеством темноцветных минералов и включением обломочного материала. По степени неоднородности гранулометрического состава песков преобладают однородные разности (коэффициент неоднородности — 1.9—2.3). Толща характеризуется нейтральной реакцией среды (среднее значение pH — 6.9), низкой физико-химической активностью (емкость обмена в среднем 10.9 мг-экв), рыхлой плотностью сложения (коэффициент пористости более 0.750) и слабоувлажненным состоянием (природная влажность 4—10 %). Основными структуроформирующими компонентами являются: карбонаты (8.5 %, преобладает CaCO_3), кремнезем (2.98 %), полуторные оксиды (2.86 %) и водорастворимые соли (0.2—0.4 %).

На рис. 3, *Б* показано распределение показателей гранулометрического и химического составов отложений в вертикальном разрезе. Характер распределения показателей состава и свойств подтверждает разделение песчаной толщи на четыре пачки (сверху вниз): первая (0.0—0.8 м) — песок пылеватый и мелкий, гумусированный, с максимальным количеством полуторных оксидов (6 %) и повышенными значениями потери при прокаливании (4 %); вторая (0.8—2.6 м) — песок мелкий, с примесью среднезернистого материала; третья (2.6—2.8 м) — погребенный почвенный горизонт — песок мелкий, пылеватый, с примесью среднезернистого материала, сильно гумусированный; здесь фиксируются максимальные значения потери при прокаливании (8 %) и емкости катионного обмена (28.5 мг-экв), что связано, по-видимому, с повышенным содержанием гумуса; четвертая (2.8—3.6 м) — песок пылеватый и мелкий с примесью среднезернистого материала, карбонатизированный, макропористый.

Характер распределения показателей гранулометрического и химического составов, а также структурные характеристики разреза отличают вторую пачку от выше- и нижележащих отложений. Слоистость, лучшая сортированность песков (преобладание песка одной фракции в пробах более 75 %) и лучшая окатанность зерен говорят о переотложении песков этой пачки с более дальней транспортировкой, чем для пачек 1, 3 и 4. Мы предполагаем, что пески второй пачки формировались аналогично пескам второй пачки разреза Аршанов, за счет ветрового переноса материала и переотложения его в виде гряд на поверхности 20—25-метровых террас. В данном разрезе также фиксируется стабилизация процессов ветрового переноса с последующим формированием верхней пачки массивных делювиальных песчано-супесчаных отложений.

Разрез Луговской (N $53^{\circ}31,778'$, E $91^{\circ}46,590'$, alt. 264 м) (см. рис. 2, *В*).

Разрез находится на правом берегу р. Енисей, ниже по течению от разреза Ново-Николаевский, в районе пос. Луговское. Расчисткой вскрыта 8-метровая терраса р. Енисей. В верхней части (0—1 м) разрез представлен современными делювиальными отложениями (пачка 1), Вторая пачка (1.0—1.6 м) — карбонатизированные песчаные отложения, проработанные почвообразовательными процессами (погребенный почвенный горизонт). В верхней части горизонт гумусирован сильнее. На поверхности этого слоя найдены остатки костей животных и керамики древнего человека. Третья пачка (1.6—2.5) представлена мелко- и среднезернистыми песками серовато-желтого цвета, массивными, карбонатизированными, со следами вторичного ожелезнения. Четвертая пачка (2.5—2.8 м) — погребенный почвенный горизонт, представленный гумусированным суглинком темно-серого цвета, карбонатизированным, ожелезненным. Ниже (пачка 5 (2.8—8.0 м)) залегает мощная толща слоистого (в нижней части) и косослоистого (в верхней части) песка. Песок отмытый, преимущественно мелкозернистый, зерна окатанные. Слойки различаются по цвету и по размерности: более светлые желтые пески мельче, более темные, желтовато-коричневые — крупнее.

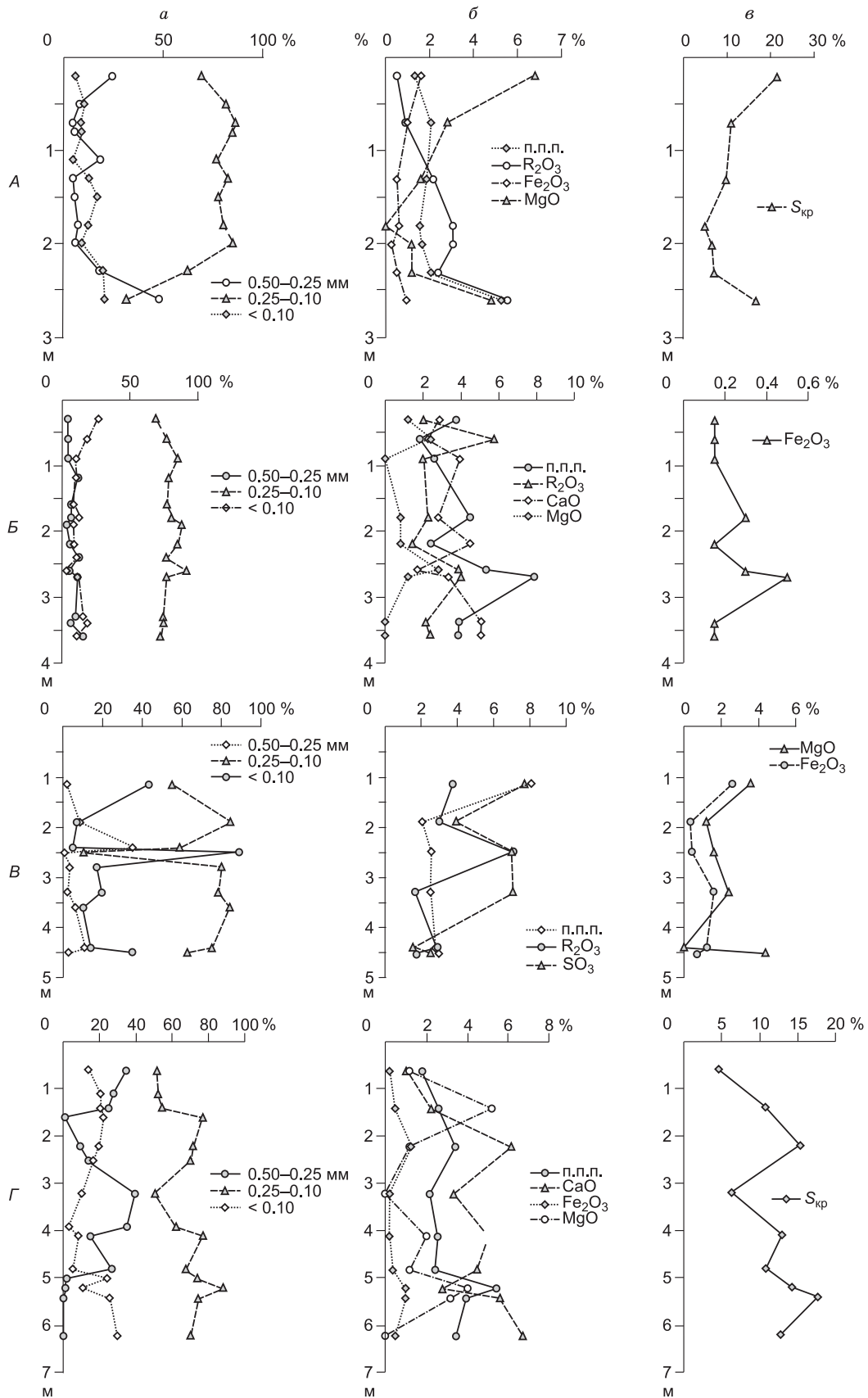


Рис. 3. Распределение показателей гранулометрического (а) и химического (б, в) составов отложений в вертикальных разрезах:

А — Аршанов; Б — Ново-Николаевский; В — Луговской; Г — Ермаковский.

Распределение показателей гранулометрического и химического составов рыхлых отложений представлено в табл. 1 и 2 и на рис. 3, В. По результатам анализов устанавливаются общие особенности песчаной толщи: песок мелкий (значительно преобладает фракция 0.25—0.10 мм), иногда с примесью среднезернистого материала. Исключение составляют пачки 2 и 4 (песчаные и суглинистые погребенные почвы), где содержание тонкозернистого материала (< 0.1 мм) сопоставимо (пачка 2) или значительно преобладает (пачка 4) над содержанием фракции 0.25—0.10 мм. По гранулометрическому составу пятую пачку можно разделить на две части — верхнюю (пробы Лу-5—Лу-8), с содержанием мелкозернистого песка (0.25—0.10 мм) > 75 %, и нижнюю (Лу 9—Лу-13), с увеличенным количеством более мелкой фракции (< 0.1 мм) до 34.9 %. Пачки 2 и 4 (погребенные палеопочвы) характеризуются пониженным содержанием минерального нерастворимого остатка (68—75 %) и повышенным содержанием полуторных оксидов (до 7.05 %), при этом пачка 2 выделяется максимальным значением потери при прокаливании (8.09 %), благодаря повышенному содержанию гумуса. Пачки 3 и 5 характеризуются повышенным содержанием минерального нерастворимого остатка (80—85 %) и пониженным значением водорастворимых солей (0.301—0.321 %).

Условия седиментации данного разреза можно охарактеризовать следующим образом. Накопление слоистых промытых песков пятой пачки происходило в субаквальных условиях. Нижняя и верхняя части пачки 5 отличаются как структурными признаками (нижняя часть содержит больше мелкозернистой фракции), так и текстурными (нижняя часть параллельно субгоризонтально-слоистая, а верхняя — с косою слоистостью). Если предположить формирование этой пачки при паводковом потоке, то нижняя часть пачки 5 будет соответствовать фации взвешенного наноса (или пойменной фации паводков по С.В. Парначеву [1999], формирующейся при больших глубинах потока. Верхняя же часть пачки 5 — русловой фации паводков [Парначев, 1999], формирующейся при спаде толщины водного потока. Почвенный горизонт (пачка 4), перекрывающий эту толщу, свидетельствует о выведении данного участка из субаквального режима осадконакопления (формирование почвы происходит в субаэральных условиях). Далее, за счет привноса большого количества песчаного материала (в результате ветрового переноса или усиления делювиальных процессов), почвообразование сменилось накоплением массивной пачки мелко- и среднезернистых песков со следами вторичного ожелезнения и карбонатизации (пачка 3). Накопление песков вновь завершается почвообразованием (пачка 2). На поверхности этой пачки найдены кости животных и обломки керамики древнего человека, что позволяет предположить одновременное формирование данного почвенного горизонта и палеоперехватывающих с остатками артефактов, зафиксированных в разрезах Аршанов и Ново-Николаевский. Палеоперехватывающая массивными делювиальными песками (пачка 1). В верхней части данной расчистки мы не наблюдаем эоловых отложений, как в предыдущих разрезах, поскольку она заложена непосредственно в террасе и не вскрывает гряды, сформированные на ее поверхности.

Разрез Ермаковский (N 53°14,755', E 92°22,997', alt. 350 м).

Разрез находится на левобережье р. Оя, близ села Ермаковское, на склоне водораздельной перемычки на 50-метровой высоте относительно уреза реки (см. рис. 2, Г). Зачисткой вскрыты отложения, подстилающие песчаные гряды. Разрез делится на четыре пачки. Первая пачка (0.0—1.5 м) — рыхлые средне- и мелкозернистые пески, заполняющие неровности палеоперехватывающей пачки. В верхней части (0.0—0.5 м) отложения проработаны почвообразованием. Вторая пачка (1.5—2.6 м) — мелкозернистые массивные делювиальные пески со следами вторичного ожелезнения и карбонатизации. Между первой и второй пачками читается перерыв в осадконакоплении. Вторая пачка согласно переходит в третью. Третья (2.6—5.1 м) представлена переслаиванием средне- и мелкозернистых песков. Пески более рыхлые, чем в вышележащих пачках, зерна окатанные, выделяются прослой отмытого магнетитового песка. В нижней части пачки слоистость более крупная, чем в верхней. Четвертая пачка (5.1—6.4 м) сложена массивными супесчано-песчаными образованиями, в верхней части пачки видны следы размыва и мощные зоны ожелезнения.

В таблицах 1 и 2 и на рис. 3, Г представлены графики распределения показателей гранулометрического и химического составов песков в вертикальном разрезе. В целом для толщи характерна нейтральная реакция среды (в среднем рН 6.6), рыхлая плотность сложения (коэффициент пористости более 0.800) и увлажненное состояние (природная влажность 9.4 %). Основными структурообразующими компонентами являются: карбонаты (в среднем 11.7 %, преобладает CaCO₃), полуторные оксиды (4.14 %), кремнезем (2.12 %) и водорастворимые соли (0.3 %). Выделенные пачки имеют следующие особенности по гранулометрическому и химическому составам: первая (0.0—1.5 м) сложена разнозернистыми песками; вторая (1.5—2.6 м) — мелкими песками, карбонатизированными (15 %, преобладает CaCO₃); третья (2.6—5.1 м) — разнозернистыми песками со средними значениями показателей химического состава; четвертая (5.1—6.4 м) — супесью карбонатизированной (17 %, преобладает CaCO₃ — до 12 %), с максимальными значениями потери при прокаливании (до 5.4 %) и емкостью катионного обмена (15.5 мг-экв).

По зонам повышенной карбонатизации, увеличению значений потери при прокаливании и емкости катионного обмена, а также отсутствию слоистости можно предполагать субаэральные обстановки для первой, второй и четвертой пачек. Для третьей же пачки характерно минимальное значение карбонатизации, потеря при прокаливании (т.е. отсутствует гумус) и емкости катионного обмена (отсутствует пылевато-глинистая фракция), а также максимальное содержание нерастворимого минерального остатка (более 80 %). Эти показатели, а также слоистость и наличие в этой пачке прослоев отмытого магнетитового песка могут свидетельствовать о субаквальном формировании песков данного горизонта. Примечательно, что субаквальная обстановка осадконакопления длилась недолго — мощность данной пачки 2.5 м, выше- и нижележащие отложения формировались в субаэральных условиях. Каким образом пески, перенесенные водой, отложились на водораздельном склоне между пачками субаэральных осадков на высоте 350 м (на 50 м выше современного уреза ближайшей реки)? Мы предполагаем, что они не связаны с современным течением рек, а являются свидетельством паводкового потока, несшего и откладывавшего пески на достаточно высоких (относительно современного уреза рек) гипсометрических уровнях. Обсуждение этого предположения представлено ниже.

Таким образом, по результатам изучения разрезов Аршанов и Ново-Николаевский можно сказать, что песчаные гряды, выраженные в современном рельефе, сформировались в позднем голоцене (в последние 2—3 тыс. лет) за счет эолового переотложения песка на подстилающей поверхности террас. При этом в некоторых разрезах фиксируется замедление активности эоловых процессов в последнее время (о чем свидетельствует формирование верхних пачек плохо сортированных массивных песков), в других — активный перенос песка продолжается до настоящего времени. В разрезах Луговской и Ермаковский наблюдаются пачки песка субаквального происхождения, причем в последнем разрезе — на водораздельном склоне на высоте, превышающей современный урез реки на 50 м. Нижние части разрезов Аршанов и Луговской и пачка 3 разреза Ермаковский могут интерпретироваться как отложения суперпаводковых потоков.

ОБСУЖДЕНИЕ ПРОИСХОЖДЕНИЯ ПЕСЧАНЫХ МАССИВОВ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Расположенные в Южно-Минусинской впадине песчаные массивы локализируются на выходе р. Енисей из хр. Западный Саян. Как показали результаты изучения разрезов, нижняя часть песков имеет субаквальное происхождение, тогда как верхняя (которая слагает песчаные гряды в современном рельефе) — является субаэральной (перевеянные и переотложенные пески нижележащих пачек). Формирование этих гряд происходило в позднем голоцене. В данном разделе мы попытаемся ответить на вопрос о происхождении нижней, субаквальной, части песчаных отложений, широко распространенных на разных гипсометрических уровнях Южно-Минусинской впадины.

Анализ проведенных ранее исследований геолого-геоморфологических процессов в Алтае-Саянской горной области [Gillespie et al., 2008; Komatsu et al., 2009; Агатова и др., 2012; Деев и др., 2013; и др.] позволяет связать формирование данных песчаных массивов с определенными событиями позднечетвертичного времени. По данным [Гросвальд, 1987, 1999; Komatsu et al., 2009] комплекс геоморфологических и седиментологических характеристик в дренажном бассейне верховьев Енисея свидетельствует о прохождении катастрофических водных потоков, спускавшихся вниз по долине. Такие события происходили неоднократно, и прохождение водных потоков связано с прорывами подпрудных озер, образованных ледниками, осадками, тектоническим уступом или лавовым потоком, в Дархатской и Тоджинской внутригорных впадинах, а также в более мелких котловинах в бассейне верхнего течения Енисея [Komatsu et al., 2009; Аржанников и др., 2010]. По этим же данным, наиболее объемный сброс воды происходил при прорыве ледниковой дамбы на выходе из Дархатской впадины. Дархатские палеоозера заполняли одноименную котловину, как минимум, трижды за счет подпора выдвигающимся ледником 35—53, 17—19 и 10—11 тыс. лет назад [Gillespie et al., 2008]. Компьютерное моделирование [Komatsu et al., 2009] сброса воды из Дархатского палеоозера в результате прорыва ледяного подпора показало максимальный дебит воды $3.5 \cdot 10^6 \text{ м}^3 \cdot \text{с}^{-1}$, что свидетельствует о катастрофизме данного события.

Геоморфология области выхода р. Енисей из Западного Саяна в Южно-Минусинскую впадину также свидетельствует о возможных признаках древних катастрофических потоков, как, например, широкий ряд многоруслых и разветвляющихся палеорусел, выходящих из ущелья Енисея в Южно-Минусинскую котловину, отмеченный в работе [Komatsu et al., 2009]. Пример системы палеоканалов стока приведен на рис. 1, в. При этом линия современного русла Енисея отклонена к востоку (см. рис. 1, а, б). Вероятно, при выходе из гор в Южно-Минусинскую впадину большого объема воды произошло резкое снижение скорости потока, что привело к интенсивному выпадению осадочного материала с формированием внутренней дельты, занявшей южную часть Южно-Минусинской котловины. Катастрофическое накопление большого количества осадков на выходе Енисея из Западно-Саянского хребта способствовало «отжатию» к востоку его русла. В нижней части разреза Луговской (пачка 5, сложенная внизу параллельно-, а сверху — косослоистыми песками), вероятно, представлены отложения пойменной и рус-

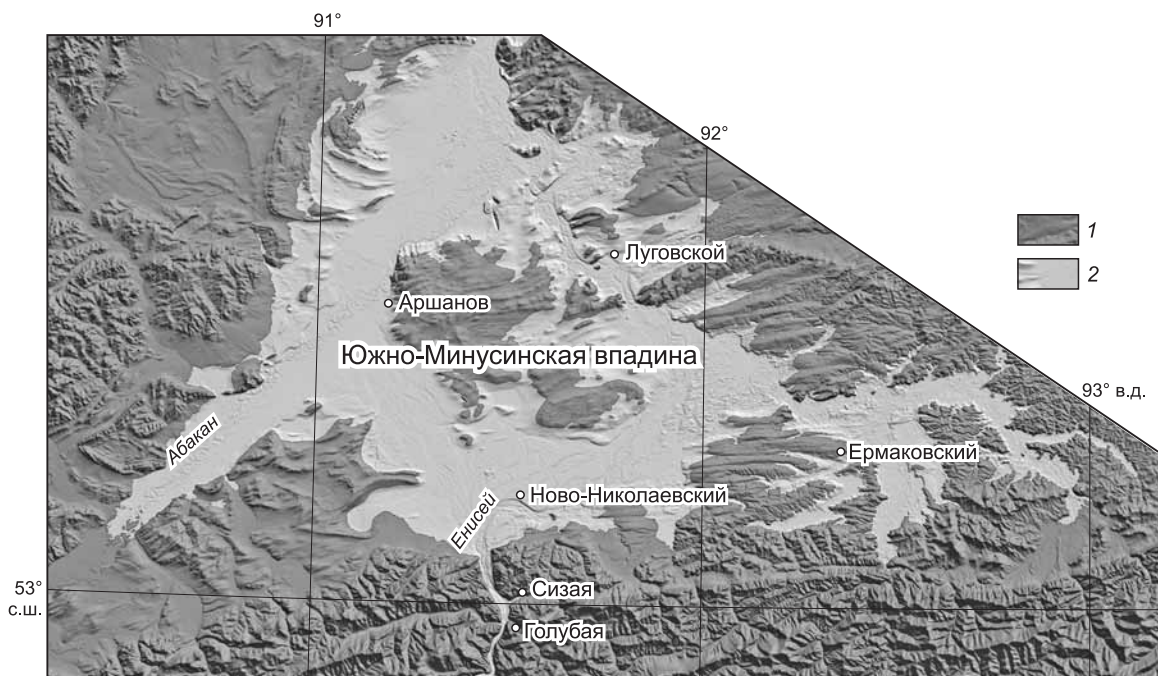


Рис. 4. Модель подпрудного временного водоема, заполнившего Южно-Минусинскую впадину:

1 — рельеф с абсолютными высотами более 350 м, 2 — территория подтопления с абсолютными высотами менее 350 м. Белыми прямоугольниками обозначено местоположение изучаемых разрезов.

ловой фации паводков, формирующихся последовательно при спаде толщины водного потока суперпаводков [Парначев, 1999]. Накопление аквальных осадков, не связанное с современным течением рек, мы наблюдаем также в разрезе Ермаковский (пачка 3) на склоне водораздельной перемычки с абс. высотой 350 м на 50-метровой высоте относительно уреза близлежащей реки. Для данного разреза было установлено, что субаквальная обстановка осадконакопления длилась недолго — мощность данной пачки 2.5 м, выше- и нижележащие отложения формировались в субаэральных условиях. Данный факт также свидетельствует в пользу единовременного катастрофического выброса водным потоком осадочного материала в Южно-Минусинскую котловину, причем поверхность воды, заполнившей впадину, на тот момент имела абсолютную высоту не менее 350 м. Такие условия в Южно-Минусинской котловине возникнуть могли, поскольку на пути водного потока находятся обрамляющие впадину с северо-запада Батеневский кряж и Беллыкское Белогорье, разделенные antecedentным участком долины р. Енисей (см. рис. 1, а). Очевидно, что этот узкий участок не мог пропустить огромное количество воды, и образовался подпор, в результате которого вода заполнила большую часть Южно-Минусинской впадины. Поскольку вода из подпрудного водоема спускалась постепенно — скорость потока значительно упала, и создались благоприятные условия для осаждения взвешенного материала в слабопроточных условиях. На рис. 4 представлена территория подтопления с абсолютными высотами ниже 350 м.

Свидетельства высокого уровня воды наблюдаются также выше по течению Енисея в пределах Западно-Саянского хребта в устьевой части долин его правых притоков — рек Голубая и Сизая. На р. Голубая вторая, 10-метровая, терраса, поверхность которой находится на абс. высоте 340 м, сложена слоистыми песками с прослоями грубообломочного слабоокатанного материала (рис. 5). В нижней части разреза слоистость косая, наклонена на 110° под углом 10—15°, иногда выравнивается до горизонтальной. Наклон слоев обратный по отношению к современному течению реки. А.Ф. Ямских [Yamskikh, 2001] интерпретирует эти отложения как аллювиально-озерные, сформированные в бассейне, подпруженном ледниковой дамбой. Однако есть и альтернативная интерпретация, основанная на схожести данного осадочного комплекса с комплексами, наблюдаемыми в гигантских валах (дилювиально-аккумулятивных террасах) вдоль долин рек Катунь и Чуя на Алтае [Rudoy, 2002; Carling et al., 2002; Зольников, Мистрюков, 2008]. Гигантские валы на Алтае состоят из осадков, отложенных в результате резкого падения энергии водного потока, происходившего в условиях обратного течения в эрозионной тени коренных выступов, возле изгибов основных долин или в расширениях долин [Rudoy, 2002]. По данным [Komatsu et al., 2009], осадочные образования второй террасы р. Голубая могут также быть связаны с

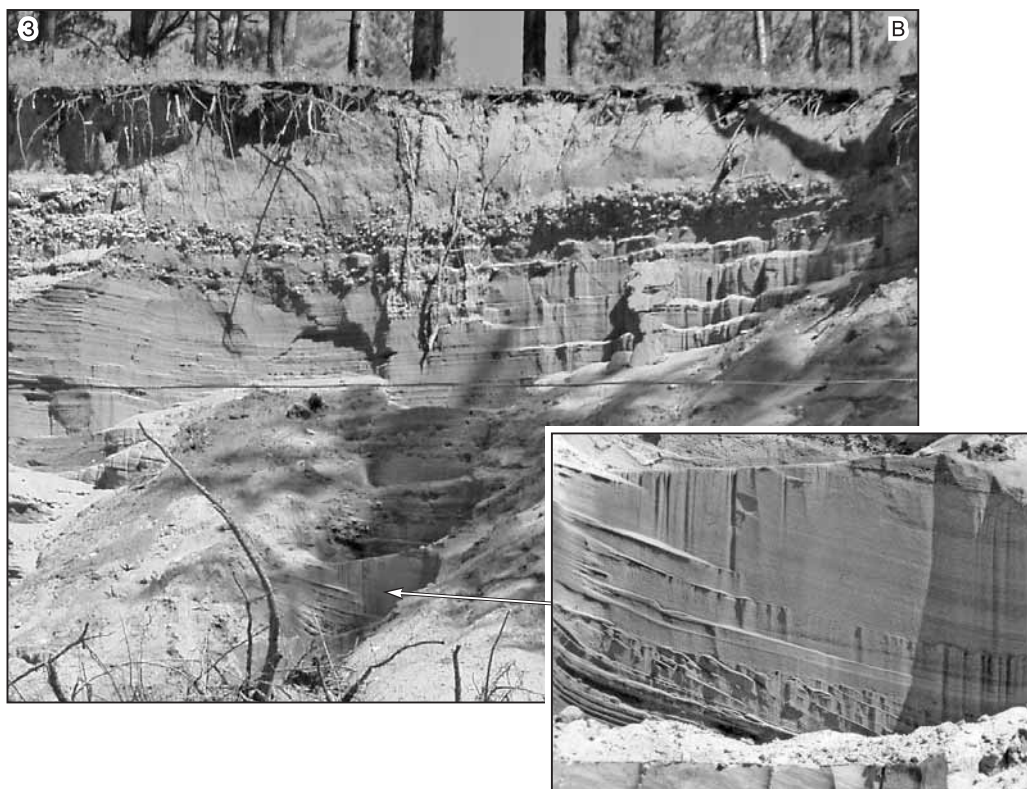


Рис. 5. Разрез 10-метровой террасы р. Голубая.

На врезке — нижняя часть разреза, где наблюдается наклонное залегание слоев с падением в сторону, обратную современному течению реки.

катастрофическими водными потоками с высокой энергией вдоль Енисея, и их отложение может быть объяснено затеканием, с падением энергии, воды в притоки. При этом затекание воды подтверждается обратным по сравнению с современным течением наклоном слоев в аллювии второй террасы р. Голубая. Разрез осадочных отложений в районе устья р. Сизая представлен субаквальной песчаной толщей, залегающей непосредственно на дресвяных склоновых отложениях (рис. 6). Это также является свидетельством резкого подъема уровня воды, который может быть связан с данным катастрофическим процессом.

Что касается времени формирования катастрофических потоков, которые проходили по долине Енисея неоднократно [Komatsu et al., 2009], то мы можем попытаться оценить только последнее событие, зафиксированное в разрезах 8-метровой террасы Енисея (разрез Луговской) и 10-метровой террасы р. Голубая, относительно возраста последних. По данным [Ямских, 1993], отложения 4—8- и 8—12-метровых террас данного района датированы сартанским временем (11—24 тыс. лет). В рамках этого временного интервала, по данным [Gillespie et al., 2008], в Дархатской впадине кратковременно существовало крупное подпорное озеро. Геологические данные и ^{10}Be -датирование ледниковых наносов свидетельствуют о том, что впадина была заполнена озером в период 17—19 тыс. лет назад. Озеро образовалось за счет ледникового подпора, и его глубина составляла 140 м. При этом в интервале между 17 и 11 тыс. лет назад Дархатская впадина была сухой [Gillespie et al., 2008]. Прорыв ледниковой дамбы в районе 17 тыс. лет назад мог сформировать катастрофический спуск воды по долине Енисея с выносом части осадков в Южно-Минусинскую котловину.

Таким образом, в результате проведенных исследований и анализа работ предшественников, мы пришли к выводу, что формирование мощной толщи песчаных отложений в Южно-Минусинской котловине может быть связано с выносом большого количества осадочного материала катастрофическим потоком по долине Енисея, произошедшим в связи с прорывом ледниковой дамбы в Дархатской впадине в районе 17 тыс. лет назад.

Катастрофический поток, вырвавшийся из хр. Западный Саян в Южно-Минусинскую котловину, привел к заполнению ее водой до абс. уровня не менее 350 м. При этом произошло резкое снижение

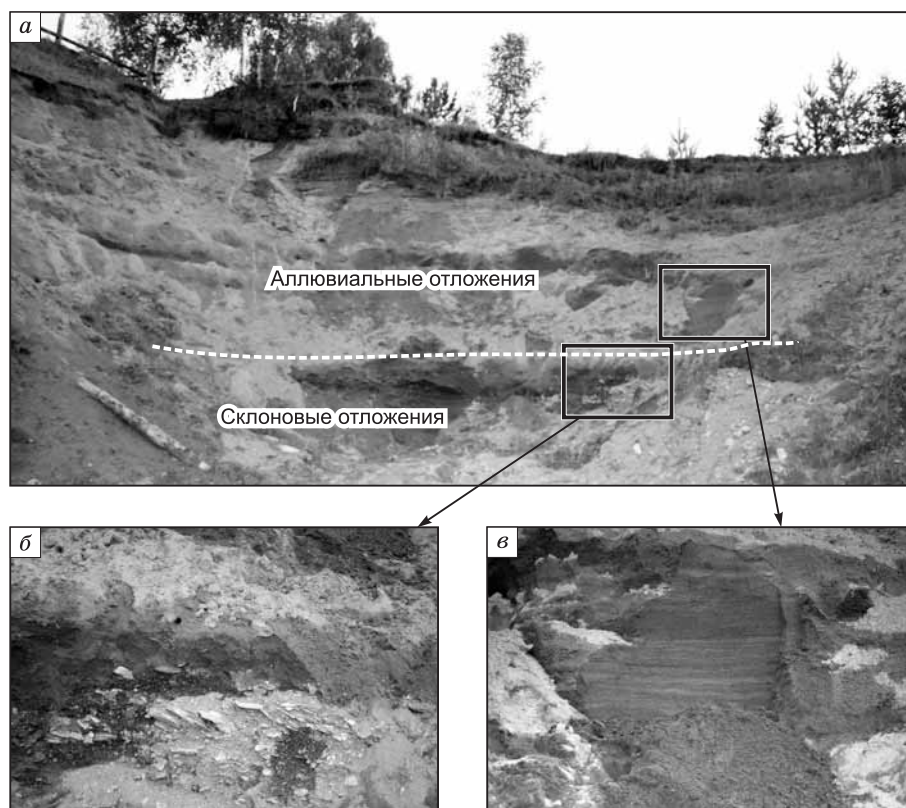


Рис. 6. Толща осадочных отложений в устье р. Сизая:

а — общий вид; *б* — склоновые дресвяные отложения; *в* — слоистая песчаная толща субаквальных отложений.

скорости потока, что привело к интенсивному выпадению осадочного материала с формированием внутренней дельты, занявшей южную часть Южно-Минусинской котловины. Максимально высокий уровень перенесенных водой осадков зафиксирован на водораздельном склоне на абс. отметке 350 м (разрез Ермаковский). При этом пачка паводковых отложений подстилается и перекрывается субаэральными образованиями, что свидетельствует о кратковременном подъеме воды до этого уровня.

Вышележащие песчаные отложения, слагающие гряды в современном рельефе, имеют эоловый генезис. Формирование этих гряд происходило в позднем голоцене за счет ветрового переноса и перетолжения песков нижележащих пачек.

Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ (гранты № 13-05-00247 и 13-05-00361) и интеграционного проекта СО РАН 4.11.

Авторы благодарят к.г.н. Г.Г. Русанова, а также анонимного рецензента за плодотворную дискуссию, способствующую улучшению статьи.

ЛИТЕРАТУРА

Агатова А.Р., Назаров А.Н., Непоп Р.К., Орлова Л.А. Радиоуглеродная хронология гляциальных и климатических событий голоцена Юго-Восточного Алтая (Центральная Азия) // Геология и геофизика, 2012, т. 53 (6), с. 712—737.

Аржанников С.Г., Алексеев С.В., Глызин А.В., Кулагина Н.В., Игнатова Н.В., Орлова Л.А. Динамика развития природной среды в конце плейстоцена и голоцене западной части Тоджинской впадины (Восточная Тува) // Геология и геофизика, 2010, т. 51 (2), с. 206—221.

Вдовин В.В. Основные этапы развития рельефа. М., Наука, 1976, 270 с.

Гросвальд М.Г. Развитие рельефа Саяно-Тувинского нагорья. М., Наука, 1965, 165 с.

Гросвальд М.Г. Последнее оледенение Саяно-Тувинского нагорья: морфология, интенсивность питания, подпрудные озера // Взаимодействие оледенения с атмосферой и океаном / Под ред. В.М. Котлякова, М.Г. Гросвальда. М., Наука, 1987, с. 152—170.

Гросвальд М.Г. Евразийские гидросферные катастрофы и оледенения Арктики. М., Научный мир, 1999, 120 с.

Деев Е.В., Зольников И.Д., Гольцова С.В., Русанов Г.Г., Еманов А.А. Следы древних землетрясений в четвертичных отложениях межгорных впадин центральной части Горного Алтая // Геология и геофизика, 2013, т. 54 (3), с. 410—423.

Зольников И.Д., Мистрюков А.А. Четвертичные отложения и рельеф долин Чуи и Катунь. Новосибирск, Параллель, 2008, 182 с.

Зятькова Л.К. Структурная геоморфология Алтае-Саянской горной области. Новосибирск, Наука, 1977, 215 с.

История развития рельефа Сибири и Дальнего Востока. Алтае-Саянская горная область / Под ред. С.А. Стрелкова, В.В. Вдовина. М., Наука, 1969, 412 с.

Парначев С.В. Геология высоких алтайских террас (Яломанско-Катунская зона). Томск, Изд-во ИПФ. ТПУ, 1999, 137 с.

Ямских А.Ф. Осадконакопление и террасообразование в речных долинах Южной Сибири. Красноярск, КГПИ, 1993, 226 с.

Carling P.A., Kirkbride A.D., Parnachov S., Borodavko P.S., Berger G.W. Late Quaternary catastrophic flooding in the Altai Mountains of south-central Siberia: a synoptic overview and introduction to flood deposit sedimentology // Flood and megaflood processes and deposits: recent and ancient examples. International Association of Sedimentologists Special Publication / Eds. I.P. Martini, V.R. Baker, G. Garzon. London, Blackwell Science, 2002, v. 32, p. 17—35.

Gillespie A., Burke R., Komatsu G., Bayasgalan A. Late Pleistocene glaciers in Darhad Basin, northern Mongolia // Quatern. Res., 2008, v. 69, p. 169—187.

Komatsu G., Arzhannikov S., Gillespie A., Burke R., Miyamoto H., Beker V. Quaternary paleolake formation and cataclysmic flooding along the upper Yenisei River // Geomorphology, 2009, v. 104, p. 143—164.

Rudoy A.N. Glacier-dammed lakes and geological work of glacial superfloods in the Late Pleistocene, Southern Siberia, Altai Mountains // Quatern. Intern., 2002, v. 87, p. 119—140.

Yamskikh A.F. Ripple landforms in the Ka-Khem and Ulug-Khem river valleys and dammed basin formation. Field guidebook for the Global continental paleohydrology Meeting, Krasnoyarsk-Khakassia-Tuva Region, Russia. Krasnoyarsk, KrasSU, 2001, p. 195—200.

*Рекомендована к печати 23 мая 2013 г.
Н.А. Берзиным*

*Поступила в редакцию
11 марта 2013 г.*