

Петромагнитные и гранулометрические характеристики четвертичных отложений опорного разреза Тологой (Бурятия, Россия)

А.Ю. Казанский^(1,2), Г.Г. Матасова⁽³⁾, А.А. Щетников^(4,5,6), А.И. Филинов^(4,5,6),
М.А.Ербаева^(5,7)

1 - Московский государственный университет («МГУ»), 119991, Россия, г. Москва, Ленинские горы, д. 1, , Телефон: 79167459857, e-mail: kazansky_alex@mail;

2 – Геологический Институт РАН («ГИН»), 119991, Россия, г. Москва, Пыжевский пер. д.7
3 - Новосибирск, Институт нефтегазовой геологии и геофизики им.А.А Трофимука СО РАН («ИНГГСО РАН»), 630090, Россия, г. Новосибирск, Коптюга пр. д. 3, Телефон: 79319184144, e-mail: matasovagg@ipgg.sbras.ru

4 - Иркутск, Институт земной коры СО РАН («ИЗК СО РАН») 664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, д 128, Телефон: 83952429756, e-mail: shch@crust.irk.ru, Телефон: : 83952429756, e-mail: filinov@crust.irk.ru

5 - Институт геохимии им. А.П.Виноградова СО РАН («ИГХ СО РАН»), Россия, 664033, г. Иркутск, а/я 9, ул. Фаворского, 1А

6 - Иркутский научный центр СО РАН («ИНЦ СО РАН»), РоссияЮ 664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 134

7 - Геологический институт Сибирского отделения Российской академии наук («ГИН СО РАН») 670047, Россия, Республика Бурятия г.Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6а Телефон: 73012433013, e-mail: erbajeva@ginst.ru

Аннотация.

Приведены результаты комплексного (гранулометрического и петромагнитного) изучения четвертичных отложений опорного разреза Тологой (Забайкалье). Установлено, что разрез имеет более сложное строение, чем считалось ранее, в нем выделены новые горизонты ископаемых почв, не выявлявшиеся при геологическом описании. Уточнен литологический состав отложений и скорректированы границы отдельных слоев. По данным анизотропии магнитной восприимчивости сделана оценка направления и угла наклона древнего склона, на котором формировались осадки, а также преобладающие направления ветров в периоды накопления отдельных интервалов отложений. Исследованы корреляционные связи между петромагнитными и гранулометрическими характеристиками и установлен их переменный характер по разрезу, что позволило выявить участки разреза с относительно непрерывным осадконакоплением и участки с переменным режимом образования и/или размыва осадков.

Ключевые слова: петромагнетизм, гранулометрия, четвертичные отложения, Забайкалье, ископаемые почвы, осадконакопление.

Введение

Разрез Тологой (51° 45' с.ш., 107° 29' в.д.) расположен в Иволгинской впадине на левом берегу р. Селенги, к юго-западу от г. Улан-Удэ. Он является опорным не только для Западного Забайкалья, но и для всей Восточной Сибири в целом. В разрезе выделяется три стратиграфических уровня [1]: верхний (верхний плейстоцен), средний (средний-нижний плейстоцен) и нижний (верхний плиоцен). В основании разреза вскрываются красноцветные отложения, считающиеся стратотипом чикойской (тологойской) свиты [1]. В данной работе приводятся результаты петромагнитных и гранулометрических исследований двух верхних возрастных уровней и их палеоклиматическая интерпретация.

Методика исследований

Отбор образцов выполнен в интервале 0-20 м. Всего отобрано 89 ориентированных образцов (со средним интервалом 23 см) и 220 неориентированных проб через 5-10 см. В полевых условиях и на образцах измерена магнитная восприимчивость (X) и ее частотная зависимость (FD) (частоты 4.7 кГц, 0.47 кГц). Различные виды намагниченности (изотермическая намагниченность J_i , остаточная намагниченность насыщения J_r , намагниченность насыщения ферромагнетиков J_{fer} , намагниченность парамагнетиков J_{par}) и коэрцитивные характеристики (коэрцитивная сила B_c и остаточная коэрцитивная сила B_{cr}) изучались на коэрцитивном спектрометре J-meter [2] в поле 700 мТл. При измерении магнитного гистерезиса оценивалось присутствие суперпарамагнитных зерен с помощью параметров $J_{rm}-J_r$ и X_{sp} . Различные соотношения магнитных параметров использовались для уточнения и детализации магнитных свойств: показатели магнитной жесткости $S=J_{r(-300)}/J_r$, $HIRM=(J_{r(-300)}+J_r)/2$, где $J_{r(-300)}$ – величина намагниченности обратным полем 300 мТл; J_{par}/J_i – вклад парамагнетиков в общий магнетизм осадков; B_{cr}/B_c vs J_r/J_i – оценка доменного состояния (ДС) магнитных зерен; X/J_r , X_{fer}/J_{fer} – оценка эффективного размера магнитного зерна.

На ориентированных образцах измерялась анизотропия магнитной восприимчивости (АМВ). Все измерения выполнены по стандартным методикам [3] в Палеомагнитном центре ИНГГ СО РАН.

Гранулометрические исследования выполнялись на лазерном микроанализаторе частиц Microtrac X100 (ИНГГ СО РАН). Диапазон размеров частиц составляет от 704 мкм до 0.146 мкм, которые объединяются в 50 фракций, представленных в объемных процентах по каждому образцу. Диспергирование образцов проводилось путем ультразвуковой обработки. По классу крупности обломков и частиц в песчаную фракцию (>100 мкм), крупноалевритовую (50-100 мкм), мелкоалевритовую (10-50 мкм) и глинистую (< 10 мкм), согласно классификации Раукаса А.В. [4]. В составе глинистой выделена илистая фракция (< 2 мкм). Для каждого образца были определены моды распределения и рассчитаны средний размер зерна (D_{sp}), динамический фактор (F). Динамический фактор представляет собой отношение количества физического песка (сумма фракций >50 мкм) к количеству физической глины (сумма фракций <50 мкм) в образце. Параметр характеризует условия осадконакопления: при $F>1$ преобладает привнос обломочного материала из ближних и средних источников посредством волочения и сальтации (~до десятка км), что, скорее всего, имеет место в высокодинамичной среде при сильных порывистых ветрах; при $F<1$ поступление материала сокращается и поступает в виде воздушных аэрозолей, в основном, из дальних источников, преобладают постседиментационные преобразования осадков *in situ*.

Результаты исследований и их обсуждение

Геологическое описание разреза скорректировано по результатам гранулометрических исследований (рис.1), номера слоев приведены сверху вниз, слой 1 – современная почва ~50 см. Плейстоценовая толща представлена чередованием песков, супесей, легких и средних суглинков; суглинками представлены ископаемые почвы. Границы внутри слоев обозначают более дробное

деление на подслои, различающиеся текстурой, цветом, включениями. По величине динамического фактора (около 1) в разрезе выделено 5 ископаемых почв, из них верхняя (слой 3), слабо развитая, мощностью ~ 40 см, визуальным обследованием отложений не фиксируется. Самая нижняя почва (слой 11), мощностью до 40-50 см, сильно денудирована, но она четко выделяется по цвету и текстуре при полевом описании. В этих палеопочвах средний размер зерна составляет 120-150 мкм. Три средние почвы (слои 5, 7, 9) хорошо развиты, большой мощности (от 0.8 до 2 м), представляют собой типичные палеопочвы, четко фиксируются как по полевым, так и по лабораторным исследованиям. В них $D_{ср}$ варьирует между 73 и 88 мкм. Для сравнения $D_{ср}$ во вмещающих отложениях меняется от 140 до 375 мкм.

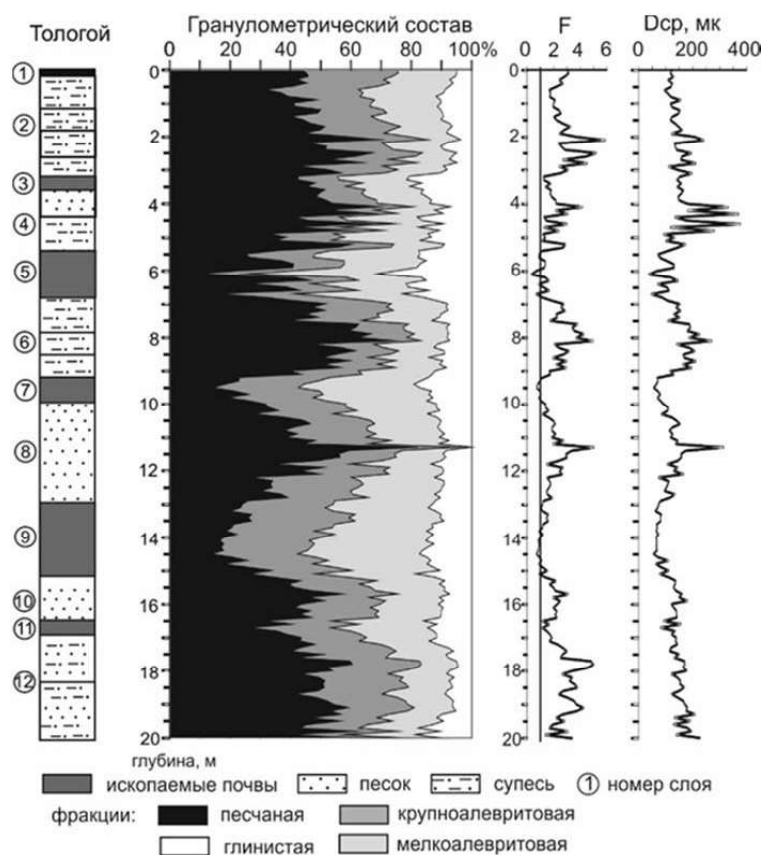


Рис.1. - Литостратиграфическое расчленение разреза Тологой и его гранулометрические характеристики.

Магнитные параметры, характеризующие магнитные свойства отложений, на рисунке 2 сгруппированы по принципу их поведения в палеопочвах: параметры, помещенные на рис.2 а, имеют пониженные значения в почвах, это концентрационно-зависимые параметры и оценки эффективного размера магнитного зерна. На рис. 2 б приведены магнитные характеристики с повышенными значениями в почвах, к ним относятся коэрцитивные параметры; оценки соотношения магнитомягких и магнитожестких минералов в магнитной фракции, а также парамагнитные характеристики.

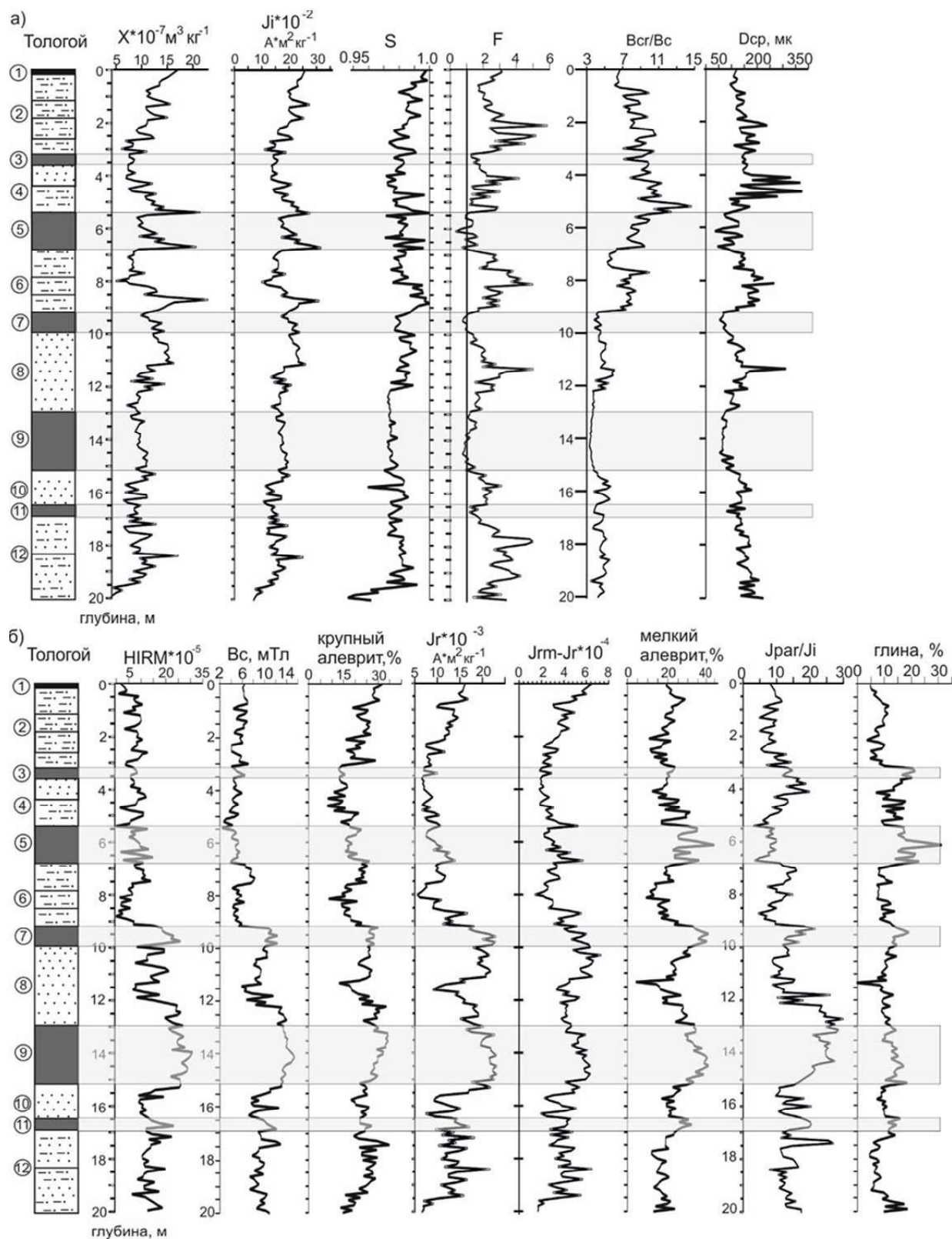


Рис.2. - Сравнение магнитных и гранулометрических характеристик отложений разреза Тологой.

Общая картина поведения магнитных характеристик свидетельствует, что разрез делится на две части, граница проходит в районе палеопочвы на глубине 9-10 м (слой 7), по некоторым параметрам (например, по концентрационно-зависимым X , J_i) – чуть ниже, в подпочвенном слое 8. Отложения верхней части разреза более крупнозернисты, характеризуются большей концентрацией

магнитных минералов, особенно во вмещающих палеопочвы отложениях; более крупными магнитными зернами; большей изменчивостью магнитных характеристик. На границах и внутри слоев отмечены резкие скачки параметров. Осадки нижней части разреза, соответственно, менее магнитны, мелкозернисты, содержат гораздо большее количество парамагнитных минералов (вклад парамагнетиков в общую намагниченность достигает 33% против максимально 20% в верхней части) и более магнитомягкие. Все эти параметры отражают смену условий осадконакопления. Об этой смене так же свидетельствуют данные о магнитной текстуре отложений, реконструируемой по эллипсоиду анизотропии магнитной восприимчивости (рис.3).

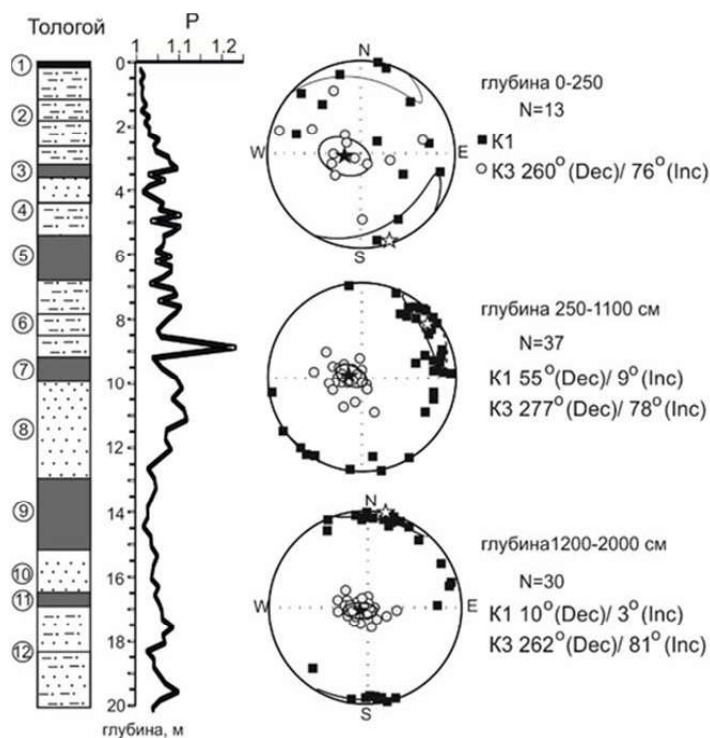


Рис.3. — Изменения степени анизотропии магнитной восприимчивости (P') и магнитная текстура отложений разреза Тологой. Белая звездочка- среднее направление K1 (максимальной оси); черная звездочка — среднее направление K3 (минимальной оси).

Анизотропия, в целом, невелика, максимальное значение P' (степень анизотропии [5]) составляет 1.21, в среднем P' понижается в почвах и увеличивается во вмещающих отложениях. Магнитная текстура — плоскостная - типична для осадочных образований, в верхней части разреза (слои 1, 2) расположение магнитных зерен более хаотично, степень анизотропии значительно меньше (в среднем P' не превышает 1.02). По параметрам магнитной текстуры возможно реконструировать положение древнего склона и направление действия основного фактора, формирующего отложения. Направление (В-З) и угол падения (~10°) склона не менялись на протяжении времени формирования изученной толщи, направление ветра менялось с С-Ю для нижней части разреза на ЮЗ-СВ для верхней части разреза. Самый верх (слои 2, 1) разреза (вероятно, голоценовые отложения) формировался под влиянием ветров СЗ-ЮВ, С-Ю направления.

Корреляционный анализ позволил обнаружить взаимосвязи между гранулометрическим составом и петромагнитными характеристиками отложений. Корреляционные коэффициенты рассчитаны для всего разреза в целом и для отдельных его частей с границей между 11 и 12 м.

Таблица 1. Коэффициенты корреляции между петромагнитными и гранулометрическими параметрами.

Магнитные Параметры	Интервал глубин разреза								
	0-20 м			0-11 м			12-20 м		
	Гранулометрические фракции								
	крупны й алеври т	мелкий алеври т.	алеври т	крупны й алеври т	мелкий алеври т.	алеври т	крупны й алеври т	мелкий алеври т.	алеври т
Jr	0.74	0.58	0.74	0.71	0.5	0.67	0.71	0.73	0.81
Bcr	0.5	-	0.53	-	-	-	0.64	0.74	0.79
Bc	0.75	0.52	0.69	0.67	-	0.62	0.68	0.83	0.86
Jrm- Jr	0.64	-	0.62	0.66	-	0.58	0.61	0.57	0.66
Jp	0.68	0.64	0.74	-	0.52	0.56	0.77	0.82	0.9

Различие между взаимосвязями изученных параметров наглядно видно на рис. 2 и в таблице 1, где приведены коэффициенты корреляции содержания алевритовых фракций и некоторых магнитных характеристик. В верхней части разреза корреляция существенно слабее и реже встречается, чем в нижней части. Также слабее либо отсутствует вообще связь песчаной и глинистой фракций с магнитными характеристиками. Только в нижней части разреза содержание песчаной фракции прямо коррелирует только с размером магнитного зерна, глинистой – с показателями магнитной «жесткости» отложений.

Для выяснения причин слабой связи изученных параметров в верхней части разреза была проведена корреляция со «скользящим окном» в 1, 2 и 3 м. Все они показали близкие результаты. На рисунке 4 приведено изменение корреляционных коэффициентов с глубиной, на графики намеренно помещены кривые, отражающие слабую корреляцию или ее отсутствие в верхней части либо в целом по разрезу (рис.2, таблица 1). На графиках видно, что до глубины ~8.5 м коэффициенты корреляции имеют низкие значения и несколько раз меняют знак, что объясняет слабую общую связь между параметрами. И, наоборот, в нижней части разреза почти на всю глубину (до ~16 м) коэффициенты корреляции имеют высокие значения. Ослабление взаимосвязей наблюдается в районе ископаемых почв и в самой нижней части разреза (с ~ 17 м). Поскольку нарушение связей свидетельствует об изменении характера и/или степени влияния различных факторов осадконакопления, то на основании представленных данных можно предложить разделение разреза на 3 части, отделенные друг от друга значительными перерывами. Средняя часть, включающая слои (7, 8, 9, 10) формировалась достаточно цельной толщей, без существенных перерывов. Небольшие перерывы могут подразумеваться до и

после образования почв. Верхняя часть разреза полностью формировалась в режиме переменного осадконакопления либо денудации, об этом же свидетельствуют резкие скачки параметров на границе и внутри слоев.

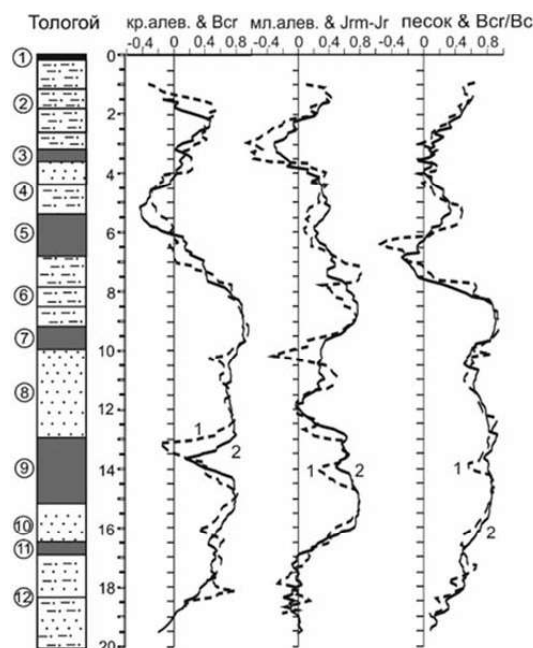


Рис.4. — Коэффициенты корреляции со «скользящим окном 2 м (кривая 1) и 3 м (кривая 2) между некоторыми гранулометрическими и петромагнитными характеристиками. Первая точка приписана к середине интервала.

Более детальное деление может предположить относительно непрерывное осадконакопление в голоцене (слои 2,1). В нижней части разреза, включая и почву (слой 11), характер взаимозависимостей не дает оснований для выводов относительно условий осадконакопления, но понятно, что они отличались от таковых для средней части разреза. Вероятно, на происхождение и преобразование отложений слоев 11, 12 прольет свет дальнейшее комплексное изучение осадков с увеличением глубины вскрышных работ.

Выводы

- 1) По комплексу гранулометрических и петромагнитных данных определен литологический состав отложений; выявлены горизонты ископаемых почв, не обнаруженные визуальным обследованием; скорректированы границы отдельных слоев и установлен их характер;
- 2) По данным анизотропии магнитной восприимчивости сделана оценка направления и угла наклона древнего склона, на котором формировались осадки, а также преобладающие направления ветров в периоды накопления отдельных интервалов отложений;
- 3) На основании результатов корреляционного анализа выделены участки разреза с относительно непрерывным осадконакоплением и участки с переменным режимом либо денудацией

(т. е. объем перерывов, скорее всего, многократно превышает объем накопленных и сохранившихся отложений).

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (гранты 18-05-00215, 16-05-00586 и 15-05-01858) и Министерства образования (грант № 2017-220-06-1656).

Список литературы

1. Алексеева Н.В. Эволюция природной среды Западного Забайкалья в позднем кайнозое (по данным фауны мелких млекопитающих. Москва, ГЕОС, 2005. - 141 с.
2. Jasonov P. G., Nurgaliev D. K., Burov B. V., Heller F. (1998) A modernized coercivity spectrometer // *Geologica Carpathica* V. 49. - P. 224-226.
3. Evans, M.E., Heller, F. Environmental Magnetism. New York: Academic Press, 2003. - 299 p
4. Раукас А.В. Классификация обломочных пород и отложений по гранулометрическому составу. - Таллин, Институт геологии АНЭССР, 1981. -24 с
5. Tarling D.H., Hrouda F. The magnetic anisotropy of rocks. - London: Chapman & Hall, 1993. - 217 p..