

# СОСТАВ, МИКРОСТРУКТУРА И СВОЙСТВА ЧЕТВЕРТИЧНЫХ ГЛИН ПРИХАНКАЙСКОЙ ВПАДИНЫ (ПРИМОРЬЕ)



Озеро Ханка, <https://www.ruspeach.com/news/14062/>

## РЯЩЕНКО Т.Г.\*

Институт земной коры Сибирского отделения Российской академии наук, г. Иркутск, Россия, [ryashenk@crust.irk.ru](mailto:ryashenk@crust.irk.ru)  
Адрес: ул. Лермонтова, д. 128, г. Иркутск, 664033, Россия

## УХОВА Н.Н.

Институт земной коры Сибирского отделения Российской академии наук, г. Иркутск, Россия, [nat\\_ukhova@crust.irk.ru](mailto:nat_ukhova@crust.irk.ru)

## ШТЕЛЬМАХ С.И.

Институт земной коры Сибирского отделения Российской академии наук, г. Иркутск, Россия, [fotina78@gmail.com](mailto:fotina78@gmail.com)

## БЕЛЯНИНА Н.И.

Тихоокеанский институт географии Дальневосточного отделения Российской академии наук, г. Владивосток, Россия, [nibelyanina@yandex.ru](mailto:nibelyanina@yandex.ru)  
Адрес: ул. Радио, д. 7, г. Владивосток, 690041, Россия

## БЕЛЯНИН П.С.

Тихоокеанский институт географии Дальневосточного отделения Российской академии наук, г. Владивосток, Россия, [pavelbels@yandex.ru](mailto:pavelbels@yandex.ru)

Оригинальная статья

Поступила в редакцию 17.05.2018 / Принята к публикации 11.03.2019 / Дата публикации 29.03.2019

© ООО «Геомаркетинг», 2019

## Аннотация

Рассматриваются результаты изучения состава, микроструктуры и физико-химических свойств четвертичных глин Приханкайской впадины в районе озера Ханка (Приморье) на примере воздушно-сухих образцов геологической скважины 45-б в интервале 18–62 м. Цель исследований заключалась в том, чтобы при использовании геолого-литологических материалов и результатов лабораторных данных получить новую информацию об особенностях глинистых отложений, широко распространенных на указанной территории. Составлена схематическая геолого-литологическая колонка с выделением различных зон в четвертичной глинистой толще и границы с отложениями неогеновой системы. Предложена методическая схема лабораторных исследований глин, которая включает определение химического и микроэлементного составов, глинистых минералов, содержания карбонатов, водорастворимых солей, подвижных форм оксида алюминия и гумуса, а также микроструктурных параметров (методом «Микроструктура») и некоторых физико-химических свойств. Геохимические коэффициенты (Kz, CIA, CIW, IGV) определили степень химической зрелости глин и подтвердили результаты палинологических исследований, отражающих колебания климатических условий их формирования. Для токсичной группы микроэлементов впервые рассчитан специальный показатель (Zc), который явился критерием степени загрязнения глинистой толщи. Глинистые минералы четвертичных глин представлены смектитом и гидрослюдой; обнаружено четкое изменение минеральной ассоциации при переходе к неогеновым отложениям (преобладает каолинит). Метод «Микроструктура» выявил агрегированный тип микроструктуры глин, господство среди первичных (свободных) частиц крупнопылеватых и почти полное отсутствие тонко-мелкопесчаных, участие в составе агрегатов различных фракций; представлены варианты формирования определенных (по размерам) типов агрегатов в аллювиально-озерных «ханкайских» глинах. При использовании стандартных методов для глин определены плотность минеральной части, водостойчивость (время размокания), седиментационный объем, пластичность, относительное набухание (на образцах-пастах); по специальным методикам измерена емкость катионного обмена, и получены расчетные значения числа пластичности по прогнозным формулам с использованием предела текучести. Предложенную методическую схему комплексных лабораторных исследований глинистых отложений можно рекомендовать для проблемных геолого-литологических и инженерно-геологических разрезов.

## Ключевые слова:

четвертичные глины; химический и микроэлементный составы; глинистые минералы; карбонаты; подвижные оксиды; параметры микроструктуры; свойства

## Ссылка для цитирования:

Рященко Т.Г., Ухова Н.Н., Штельмах С.И., Беянина Н.И., Беянин П.С., 2019. Состав, микроструктура и свойства четвертичных глин Приханкайской впадины (Приморье). Инженерная геология, Том XIV, № 1, с. 20–34, <https://doi.org/10.25296/1993-5056-2019-14-1-20-34>

# COMPOSITION, MICROSTRUCTURE AND PROPERTIES OF QUATERNARY CLAYS OF THE PRIKHANKAYSKAYA DEPRESSION (PRIMORYE)

**TAMARA G. RYASHCHENKO\***

*Institute of the Earth's Crust of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk, Russia, ryashenk@crust.irk.ru  
Address: Bld. 128, Lermontova St., 664033, Irkutsk, Russia*

**NATALIA N. UKHOVA**

*Institute of the Earth's Crust of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk, Russia, nat\_ukhova@crust.irk.ru*

**SVETLANA I. SHTELMAKH**

*Institute of the Earth's Crust of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk, Russia, fotina 78@gmail.com*

**NINA I. BELYANINA**

*Pacific Geographical Institute of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Vladivostok, Russia, nibelyanina@yandex.ru  
Address: Bld. 7, Radio St., 690041, Vladivostok, Russia*

**PAVEL S. BELYANIN**

*Pacific Geographical Institute of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Vladivostok, Russia, pavelbels@yandex.ru*

*Original paper*

*Received 17 May 2018 / Accepted 11 March 2019 / Published 29 March 2019*

*© "Geomarketing" LLC, 2019*

## Abstract

The article considers the study results of composition, microstructure and physical-chemical properties of the quaternary clays of the Prikhankayskaya depression in district of the lake Khanka (Primorye) on the example of air-dry samples of geological borehole 45-b in the range of 18–62 m. The objective of research was to obtain new information about the properties of widespread clay sediments in this area using geologic-lithological materials and laboratory data. The schematic geologic-lithological column was composed with the selection of various zones in the quaternary clay sediments section and the border with sediments of the Neogene System. The methodological scheme of laboratory studies of clays was proposed. This scheme includes the determination of chemical and microelement composition, clay minerals, contents of carbonates, water-soluble salts, mobile forms of aluminum oxide, humus, as well as microstructural parameters (method «Microstructure») and some physical-chemical properties. Geochemical coefficients (Kz, CIA, CIW, ICV) determined the degree of chemical maturity of clays and confirmed the results of palynological studies reflecting the fluctuations of the climatic conditions of their formation. For the group of toxic microelements for the first time the special indicator (Zc) was calculated. Which was the criterion for a degree of pollution of the clay sediments section. Clay minerals of the quaternary clays are represented by smectite and hydromica. The clear change in the mineral association was found when passing to the Neogene sediments (kaolinite prevails). The method «Microstructure» revealed the aggregated type of clays microstructure, the domination of the particles of coarse dust fraction among the primary (free) particles and the almost complete absence of the particles of fine-grained sand fraction, the participation of various fractions in the composition of aggregates. The variants of the formation of certain types of aggregates (on sizes) in the fluviolacustrine «khankayskiy» clays are presented. Solid part density, water resistance (soaking time), sedimentation volume, plasticity, relative swelling (samples-pastes) were determined using standard methods for clays. By special methods, the cation exchange capacity was measured and the calculated values of the plasticity index were obtained from forecasting formulas using the yield limit. The proposed methodological scheme of complex laboratory studies of clay sediments can be recommended for problematic geologic-lithological and engineering-geological sections.

## Key words:

quaternary clays; chemical and microelement composition; clay minerals; carbonates; mobile oxides; microstructure parameters; properties

## For citation:

Ryashchenko T.G., Ukhova N.N., Shtelmakh S.I., Belyanina N.I., Belyanin P.S., 2019. Composition, microstructure and properties of quaternary clays of the Prikhankayskaya depression (Primorye). *Engineering Geology World*, Vol. XIV, No. 1, pp. 20–34, <https://doi.org/10.25296/1993-5056-2019-14-1-20-34>

## Введение

Исследования четвертичных глин в пределах Приханкайской впадины в районе озера Ханка (Приморье) имеют длительную и весьма интересную, часто противоречивую историю. Вернемся в 1952 г., когда Дальневосточной экспедицией Академии наук СССР проводились исследования геологического строения и геоморфологии Приханкайского района [10]. По мнению автора указанной рабо-

ты, с конца палеогена уже существовало озеро с богатой диатомовой флорой, его площадь была значительно больше, климат Приханкайской равнины отличался повышенной гумидностью. По представлениям других исследователей, Ханка и прилегающая низменная равнина непрерывно существуют с миоцена или позднего мела [3, 4, 5].

В начале нынешнего века появились новые данные о возрасте озера [12]. Согласно построениям [21], события

на рубеже ранний-средний неоплейстоцен, связанные с тектоническими преобразованиями, привели к переориентировке стока пра-рек на юг, в результате энергетические возможности древней речной сети уменьшились, и обширные площади низменной равнины превратились в огромную пойму. В соответствии с указанной концепцией четвертичные отложения этой равнины, вскрытые опорными скважинами в районе озера Ханка и представленные зеленовато-серыми глинами с растительными остатками и микроконкрециями вивианита, являются аллювием.

Против «пойменно-аллювиальной» точки зрения выступили сторонники аллювиально-озерной гипотезы, которые считают, что четвертичный седиментогенез в Усури-Ханкайской впадине проходил в условиях трансгрессивной аккумуляции при тектоническом погружении территории и неоднократных колебаниях климата [6]. Авторы статьи также являются сторонниками аллювиально-озерной гипотезы, при этом для ее обоснования используется ряд признаков, полученных при комплексном лабораторном изучении «ханкайских» глин.

Объект исследований — «историческая» геологическая скважина 45-б, воздушно-сухие образцы которой в интервале 18–62 м находились в кернохранилище Тихоокеанского института географии ДВО РАН (ТИГ ДВО РАН) и были переданы, согласно установленному ранее творческому содружеству сотрудников Института земной коры СО РАН (ИЗК СО РАН), Тихоокеанского института географии ДВО РАН (ТИГ ДВО РАН) и Геологического института ДВО РАН (ГИН ДВО РАН) [19], для аналитических исследований в лабораторию инженерной геологии и геоэкологии и Центр коллективного пользования «Геодинамика и геохронология» ИЗК СО РАН.

Цель исследований заключалась в том, чтобы при использовании имеющихся геолого-литологических материалов и различных лабораторных методов получить новую информацию об особенностях четвертичных глинистых отложений, широко распространенных на территории Приханкайской впадины (Приморье). Разрез скважины 45-б не является инженерно-геологическим, тем не менее при изучении «ханкайских» глин Приморья предлагается методическая схема, представляющая сочетание геолого-литологических сведений и различных показателей состава, микроструктуры и физико-химических свойств. Эта схема (возможно, в сокращенном варианте) может быть использована для опорной (контрольной) скважины при инженерно-геологических изысканиях.

### Объекты исследований

В распоряжении авторов имелись воздушно-сухие образцы четвертичных глин нарушенного или частично нарушенного сложения (21 образец), пылевато-глинистый заполнитель дресвяно-гравелистых отложений переходной зоны (2 образца) массой 150–200 г и один образец алевролита с глубины 57,9 м (неогенового возраста). Они представляли, как указывалось выше, керн скважины 45-б в интервале 18,0–62,0 м, который находился в кернохранилище Тихоокеанского института географии ДВО РАН (рис. 1).

Проводилось детальное визуальное описание каждого объекта (это воздушно-сухая глина, которая разбивалась молотком, затем изучалась поверхность излома), и составлялся каталог с указанием видов лабораторных ана-

лизов. В качестве примера представлено описание трех образцов глин (указаны номер и глубина отбора, м) с использованием четырехкратной лупы; дополнительно приведены фондовые данные, полученные при документации керна, которая проводилась при бурении в условиях природной влажности и ненарушенного сложения пород.

4–27,6 м — глина пылеватая, желтовато-коричневая (палевая); поверхность излома образца слабо ребристая, видны мелкие макропоры и макропоры-«зацепки», заметна плитчатость (толщина плиток 0,5–1,0 см); при описании керна (фондовые материалы) глина определена как алевритистая (пылеватая), серовато-зеленого цвета с неясной горизонтальной слоистостью и редкими зернами вивианита.

12–34,4 м — глина серовато-желтая; в пакете — кусок породы (15 см) ненарушенного сложения; поверхность излома образца раковистая, заметно ожелезнение в виде охристого налета, видны своеобразные округлые неглубокие «ямки» диаметром до 0,4 мм и многочисленные мелкие («точечные») макропоры (поверхность изрезана этими макропорами); при описании керна указаны следующие признаки: глина алевритистая, светло-серая с зеленоватым оттенком; отмечаются пятна белого пылеватого вещества (далее по разрезу указывается, что это вулканический пепел).

19–45,0 м — глина пылеватая, светло-серая; в пакете — куски породы (5–10 см) ненарушенного сложения; поверхность излома мелкобугристая, изрезана мелкими макропорами, встречаются округлые углубления («ямки») с диаметром 0,4–0,5 мм, видны характерные белые пятна (вулканический пепел), заметна плитчатость; при описании керна глина определена как алевритистая, зеленовато-серая, микрослоистая (четкое чередование слоев черного цвета толщиной 0,5 мм), предполагается, что эта микрослоистость сформировалась при взмучивании осадка в воде.

Изученный интервал разреза скважины 45-б (18,0–62,0 м) по литологическим признакам можно разделить следующим образом:

1) 18,0–31,0 м — глина пылеватая, желтовато-коричневая (во влажном состоянии — коричневатая-серая с зеленоватым оттенком — описание керна по фондовым данным), поверхность излома изрезана макропорами, наблюдаются включения зерен вивианита;

2) 31,0–41,0 м — глина пылеватая, серовато-желтая (во влажном состоянии светло-серая с зеленоватым оттенком), со следами ожелезнения; поверхность излома изрезана макропорами, встречаются округлые неглубокие «ямки» диаметром 0,4–0,5 мм и характерные пятна белого материала, представленного частицами пепла;

3) 41,0–49,0 м — глина пылеватая, светло-серая (во влажном состоянии зеленовато-серая), с плитчатой макроструктурой; поверхность излома изрезана макропорами, встречаются «ямки» и частицы пепла (белые пятна); в интервал 41,0–44,0 м и 46,0–49,0 м в глине отмечаются «канальцы» длиной до 0,5 см с органическими пленками;

4) 49,0–57,0 м — дресвяно-гравелистые отложения с прочно сцементированным пылевато-глинистым заполнителем, изрезанным макропорами-«зацепками», видны округлые «ямки» диаметром до 0,5 мм; возможно, эта переходная зона неогенового возраста (для обоснования предполагаемой границы впоследствии использованы геохимические данные);



Рис. 1. Расположение скважины 45-б в пределах Приханкайской впадины (Приморье) <http://ecology-of.ru/water/fakty-ob-ozere-khanka/>

Fig. 1. Location of geological borehole 45-b within of the Prikhankayskaya depression (Primorye) <http://ecology-of.ru/water/fakty-ob-ozere-khanka/>

5) 57,0–62,0 м — алевролит желтый, прочный (неогенового возраста).

Присутствие многочисленных мелких макропор и макропор-«зацепок» во всех образцах, кроме алевролита, позволяет предположить, что четвертичная толща и переходная зона пережили криогенные воздействия в постдиагенетическую стадию развития; своеобразные «ямки» могли быть следами каких-либо микроорганизмов в аллювиально-озерных осадках; частицы пепла, по всей вероятности, попали в осадки эоловым путем.

По литологическим признакам и геологическим материалам составлена схематическая геолого-литологическая колонка для исследованного интервала (18–62 м) скважины 45-б (рис. 2). Согласно выводам работы [6], четвертичные отложения в интервале 18,0–49,0 м ( $Q_{1-2}$ ) представляют аллювиально-озерный геолого-генетический комплекс. Накопление четвертичных отложений завершилось на рубеже 700 тыс. л.н. [1].

### Методы исследований

Комплекс лабораторных исследований включал определение химического и микроэлементного состава, глинистых минералов, содержания карбонатов, водорастворимых солей, подвижных оксидов алюминия и гумуса, особенностей микроструктуры и некоторых физико-химических свойств четвертичных глин (интервал 18,0–49,0 м —

скважина 45-б). Для пылевато-глинистого заполнителя переходной зоны и алевролита (см. рис. 2) определялись химический состав, содержание микроэлементов и глинистые минералы. При обработке данных использовалась программа «Стандартная статистика» в Excel.

### Изучение химического состава

Определение химического состава образцов (содержание породообразующих оксидов) проводилось методом силикатного анализа, на основании которого рассчитывались геохимические коэффициенты<sup>1</sup> [9, 18]. Коэффициенты кремнекислый ( $K_1$ ), основной ( $BA$ ) и зрелости ( $K_2$ ) рассматриваются как показатели химической зрелости отложений;  $СIA$ ,  $СIW$  и  $ICV$  позволяют реконструировать климатическую обстановку их формирования. Высокие значения  $СIA$  и  $СIW$  свидетельствуют об относительно теплых условиях (происходит интенсивный вынос кальция, натрия и калия); снижение этих коэффициентов — признак холодной обстановки (процесс выноса подвижных компонентов замедляется).  $ICV$  отражает степень химической зрелости тонкой алюмосиликокластики (фракция < 0,001 мм): незрелые отложения с высоким содержанием неглинистых минералов имеют индекс  $ICV > 1$ , для более зрелых разновидностей с большим количеством глинистых минералов индекс  $ICV < 1$ . Коэффициенты карбонатный ( $K_k$ ) и щелочной ( $K_h$ ) показывают, со-

<sup>1</sup> Скляров Е.Д. (ред.), 2001. Интерпретация геохимических данных. Интерметинжиниринг, Москва.



Рис. 2. Схематическая геолого-литологическая колонка (скважина 45-б, интервал 18,0–62,0 м)  
 Fig. 2. Schematic geologic-lithological column (geological borehole 45-b, interval of 18.0–62.0 m)

ответственно, отношение содержания оксидов кальция и магния, калия и натрия; коэффициент окисления ( $K_o$ ) характеризует интенсивность окислительных процессов ( $FeO/Fe_2O_3$ ).

**Изучение микроэлементного состава**

Концентрации микроэлементов определялись рентгенофлуоресцентным методом с помощью спектрометра S8 TIGER (Германия, фирма Брукер) [14]. Установлено содержание (ppm) V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Pb, As, Sn, Ba, Sr, Zr, Ce, Rb, S, F, La, Nd, Y, Nb, Ga, W, Mo, U, Th (всего 25 элементов). Кроме того, определялась концентрация (%) некоторых породообразующих оксидов ( $TiO_2$ ,  $CaO$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $MnO$ ) для расчета индикаторных отношений (коэффициентов).

По содержанию токсичных компонентов рассчитан показатель ( $Z_c$ ), который характеризует степень загрязнения отложений:  $Z_c = \sum [K_d - (n - 1)]$ , где  $K_d$  — коэффициент концентрации i-элемента в образце, равный для Co, Ni, Cu, Zn отношению концентрации токсичного элемента к фоновому содержанию, для Pb, As — отношению их содержаний к предельно допустимым концентрациям (КПД); n — число учитываемых элементов ( $n = 6$ ) [13].

Показатель  $Z_c$  характеризует удовлетворительную (< 16), критическую (16–32), чрезвычайную (32–128) и катастрофическую (> 128) ситуацию по степени загрязнения отложений<sup>2</sup> [20].

Методы и результаты впервые выполненных геохимических исследований «ханкайских» глин с инженерно-геологической точки зрения представляют наибольший интерес в общем комплексе полученных материалов.

**Определение состава глинистых минералов (фракция < 0,001 мм)**

Состав глинистых минералов исследовался методом фазового рентгеноструктурного анализа (РСА). Съёмка проводилась на дифрактометре ДРОН-3, излучение — Cu K $\alpha$ , фильтр — Ni; V = 25 kV, I = 20 mA при следующих способах подготовки образца: ориентированный воздушно-сухой, прокаленный в течение трех часов при 550°, насыщенный этиленгликолем. Инженером Т.С. Филевой получены дифрактограммы и проведена их расшифровка.

**Определение состава и содержания карбонатов, водорастворимых солей и подвижных форм оксида алюминия**

<sup>2</sup>Методика «Критерии оценки экологической обстановки территории для выявления зон экологической ситуации и зон экологического бедствия», 1992. Министерство охраны окружающей среды и природных ресурсов Российской Федерации, Москва.

Проводилось по результатам химического анализа солянокислой, водной и щелочной вытяжки. Кроме того, определялись количество гумуса по методу И.В. Тюрина<sup>3</sup> и потери массы при прокаливании.

### Определение микроструктурных параметров

Применялся метод «Микроструктура», основанный на результатах гранулометрического анализа [15]. Считаем необходимым кратко представить принципиальные положения этого метода и расшифровку основных индексов.

Известно, что ряд исследователей выделяет гранулометрический и микроагрегатный составы глинистых отложений (соответственно выполняются гранулометрический и микроагрегатный анализы)<sup>3</sup> (с. 204). Авторы статьи разделяют точку зрения В.Д. Ломтадзе, который считал, что состав должен определяться только с помощью гранулометрического анализа, который проводится пипеточным методом с тремя вариантами подготовки образца — агрегатным (взбалтывание в воде — разрушаются только водонестойчивые агрегаты), полудисперсным — стандартным (кипячение с аммиаком — происходит частичное разрушение агрегатов) и дисперсным (кипячение с пирофосфатом натрия — достигается максимальное разрушение агрегатов)<sup>4</sup> [8]. Таким образом, для каждого образца в таблице имеем три строки результатов о содержании шести фракций следующих размеров (мм): 1,00–0,25; 0,25–0,05; 0,05–0,01; 0,010–0,002; 0,002–0,001; < 0,001. Далее рассчитываются коэффициенты микроагрегатности ( $K_{ма}$ ), представляющие собой разность содержаний каждой фракции, полученных при дисперсной и агрегатной подготовке образца к анализу. Значения коэффициентов с отрицательным знаком показывают количество агрегатов соответствующей размерности (содержание фракции уменьшается за счет их разрушения), с положительным — содержание фракции в составе агрегатов (при их разрушении частицы меньших размеров освободились и составили «прибавку» соответствующей фракции).

Для оценки степени агрегированности глинистых грунтов достаточно давно уже были предложены коэффициенты микроагрегатности [7] и агрегированности [2]. В первом случае это была разность в содержании фракции < 0,005 мм, полученной при дисперсном и агрегатном способах подготовки образца, во втором — результат деления этих содержаний. В настоящее время в одной из зарубежных публикаций предлагается для характеристики агрегированности рассчитывать дисперсионный коэффициент ( $K_d$ ), имеющий вид дроби, где числитель — содержание фракции < 0,002 мм, полученное при агрегатной подготовке, знаменатель — при дисперсной [24].

Особенность авторского метода заключается в том, что коэффициенты микроагрегатности (разность содержаний фракций, полученных при дисперсной и агрегатной подготовке) рассчитывались для всех указанных выше шести фракций. Далее были проведены специальные расчеты для получения 28 параметров микроструктуры грунтов [16, с. 75].

Для «ханкайских» глин определены следующие микроструктурные параметры: общее содержание (%) агрегатов (А) и их разновидностей по размерам (А2, А3), содержание первичных частиц (М3, М4, М6) и их коэффициенты свободы (F6, F5, F4); реальная глинистость (М8 — общее содержание фракции < 0,002 мм в свободном состоянии и в составе агрегатов).

Коэффициент свободы каждой фракции — это отношение (%) содержания первичных частиц к общей сумме структурных элементов (частицы + агрегаты) определенного размера. Если этот коэффициент равен 100% — все частицы свободны, если равен 0 — все частицы находятся в агрегатах.

По общему содержанию агрегатов устанавливается тип микроструктуры глин: скелетный (А < 10), агрегированный (А > 40), агрегированно-скелетный (А = 10–25), скелетно-агрегированный (25 < А < 40). Структурная модель глин определяется по двум позициям: размеру преобладающих структурных элементов (суммарное содержание агрегатов и первичных частиц — X) и коэффициенту элементарности ( $G_i$ ), который показывает долю первичных частиц в общей сумме структурных элементов ( $G_i > 80\%$  — элементарный тип, 80–20 — смешанный, < 20 — агрегированный).

### Изучение свойств

По стандартным методикам<sup>5</sup> определены некоторые показатели физико-химических свойств: плотность минеральной части глин, седиментационный объем, водонестойчивость (время размокания), пределы пластичности, относительное набухание (на образцах-пастах). Кроме того, значение числа пластичности было рассчитано по прогнозным формулам с использованием только предела текучести [17]. Проверка этого нестандартного метода при изучении нового объекта проводится постоянно, что весьма полезно с точки зрения его практического применения.

С помощью красителя метиленового голубого и фотоэлектроколориметра ФЭК-57 измерялась емкость катионного обмена глин (ЕКО, мг-экв на 100 г вещества) по методу Л.И. Кульницкого<sup>3,6</sup>.

### Результаты и их обсуждение

**Химический состав.** Выполнена статистическая обработка данных по химическому составу четвертичных глин (табл. 1). Ведущими оксидами являются SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, при этом их распределение в группировке однородно (коэффициент вариации V < 10%). К числу особенностей следует отнести обеднение толщи кальцием и магнием, неравномерное обогащение органикой (по данным потерь при прокаливании, ппп), главенствующую роль Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в группе железистых оксидов и постоянное присутствие (V < 10%) в небольшом количестве TiO<sub>2</sub>.

По результатам химического состава глин рассчитаны девять геохимических коэффициентов (табл. 2), далее выполнена статистическая обработка этих данных (табл. 3). Как указывалось выше, для двух образцов пылеватогли-

<sup>3</sup> Трофимов В.Т., Королев В.А. (ред.), 2017. Лабораторные работы по грунтоведению. КДУ, Университетская книга, Москва.

<sup>4</sup> Ломтадзе В.Д., 1970. Инженерная геология. Инженерная петрология. Недра Ленинград.

<sup>5</sup> Ломтадзе В.Д., 1990. Физико-механические свойства горных пород. Методы лабораторных исследований. Недра, Ленинград.

<sup>6</sup> Кульницкий Л.И. (ред.), 1977. Методические рекомендации по определению физико-химических свойств почв и грунтов при инженерно-геологических и почвенно-мелиоративных изысканиях. Союзводпроект, Москва.

Таблица 1  
Table 1

**Результаты статистической обработки данных о содержании породообразующих оксидов в глинах (скважина 45-б, интервал 18,0–49,0 м; n = 16)**  
**Results of statistical processing of data on the content of rock-forming oxides in clays (geological borehole 45-b, interval 18.0–49.0 m; n = 16)**

П	Породообразующие оксиды, %										ппп
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	
$X_{cp}$	64,51	16,21	3,40	0,77	0,85	0,62	1,24	2,27	0,93	2,21	6,04
$X_{min}$	60,10	13,27	1,85	0,43	0,65	0,36	0,69	1,74	0,79	1,17	4,21
$X_{max}$	72,79	18,52	6,48	1,37	1,37	0,89	1,83	3,71	1,05	3,25	9,92
$\sigma$	3,358	1,332	0,918	0,260	0,236	0,191	0,352	0,452	0,073	0,561	1,603
$V, \%$	5	8	27	34	28	31	28	20	8	25	27
$\theta$	2,550	0,938	0,729	0,192	0,173	0,163	0,271	0,300	0,055	0,429	1,196
$Md$	64,94	16,1	3,52	0,68	0,83	0,62	1,29	2,16	0,91	2,20	5,63

Примечание: здесь и в табл. 3, 4, 6 — статистические показатели (П):  $X_{cp}$ ,  $X_{min}$ ,  $X_{max}$  — среднее, минимальное и максимальное значения содержания параметра;  $\sigma$  — стандартное отклонение;  $V$  — коэффициент вариации;  $\theta$  — среднее отклонение;  $M_d$  — медиана;  $n$  — количество образцов.

Таблица 2  
Table 2

**Формулы для расчета геохимических коэффициентов**  
**Formulas for calculation of geochemical coefficients**

Геохимические коэффициенты	Формулы
Кремнекислый, $K_i$	$K_i = SiO_2/Al_2O_3$
Зрелости, $K_z$	$K_z = Al_2O_3/Na_2O$
Основной, $BA$	$BA = (CaO+K_2O+Na_2O)/Al_2O_3$
Щелочной, $K_h$	$K_h = K_2O/Na_2O$
Карбонатный, $K_K$	$K_K = CaO/MgO$
Окисления, $K_o$	$K_o = FeO/Fe_2O_3$
$CIA$	$[Al_2O_3/(Al_2O_3+CaO+Na_2O+K_2O)] \cdot 100$
$CIW$	$[Al_2O_3/(Al_2O_3+CaO+Na_2O)] \cdot 100$
$ICV$	$[Fe_2O_3+K_2O+Na_2O+CaO+MgO+TiO_2]/Al_2O_3$

нистого заполнителя дресвяно-гравийных отложений переходной зоны и алевролита (см. рис. 2) также определялся химический состав и рассчитывались коэффициенты. Располагая этими данными, был проведен сравнительный анализ четвертичных глин и регионального субстрата, который относится к неогеновым отложениям (по геологическим материалам). Четко зафиксированы различия: в отложениях неогенового возраста по сравнению с глинами  $K_i$  резко увеличивается (4,0–19,9);  $BA$  уменьшается (0,26–0,09);  $K_z$  возрастает более чем в 10 раз (14,5–229,4);  $CIA$ ,  $CIW$  повышаются в переходной зоне и алевролите (79,7–91,5; 89,7–99,1),  $ICV$  — уменьшается (0,58–0,29). Следовательно, можно предполагать, что химическая зрелость регионального субстрата значительно выше химических преобразований глинистой толщи, что соответствует теплым гумидным условиям его формирования, которые существовали в неогеновом периоде.

Определение химического состава и расчеты различных геохимических коэффициентов для четвертичных глин скважины 45-б в сочетании с результатами палинологиче-

ских исследований, выполненных Н.И. Беляниной, Л.П. Карауловой [6], привели к тому, что удалось обосновать возможность климатических колебаний в период их формирования. В авторской коллекции (21 образец) находились два образца, для которых были получены палиноспектры и по их составу установлены периоды похолодания (криохроны) и относительного потепления (термохроны).

Первый образец (15–39,5 м) формировался, согласно палинологическим данным, в условиях оледенения ( $Q_2$ ). В палиноспектре в группе хвойных растений преобладают пыльцевые зерна *Picea* (до 28,5%), подчиненное положение занимают пыльцевые таксоны *Ephedra*, *Abies* и *Pinus s/g Haploxyton* (до 8,8%), а также *Ephedra*; среди мелколиственных растений ведущими являются пыльца *Betula sect. Nanae* (7,2–68,2%), *Betula sect. Albae* (2,9–32,8%), *Betula sp.* (до 16,1%), *Duschekia* (до 10,6%), *Alnus* (до 20,4%); среди широколиственных растений доминирует пыльца *Ulmus* (0,4–9,1%), *Qercus* (до 4,1%), *Corylus* (до 4,0%). В составе споровых растений преобладают таксоны *Polypodiaceae* (22,2–77,7%), *Bryales* (до 68,9%),

Таблица 3  
Table 3

Результаты статистической обработки данных по геохимическим коэффициентам глин (скважина 45-б, интервал 18,0–49,0 м;  $n = 16$ )  
Results of statistical processing of data on the geochemical coefficients of clays (geological borehole 45-b, interval 18.0–49.0 m;  $n = 16$ )

П	Геохимические коэффициенты								
	$K_i$	$VA$	$K_z$	$K_k$	$K_o$	$K_h$	$CIA$	$CIW$	$ICV$
$X_{cp}$	4,02	0,26	14,51	0,75	0,24	1,93	79,72	89,67	0,58
$X_{min}$	3,41	0,15	8,78	0,51	0,15	1,38	76,0	86,22	0,43
$X_{max}$	5,49	0,32	30,81	1,31	0,26	2,95	86,65	94,50	0,71
$\sigma$	0,533	0,053	6,026	0,251	0,142	0,474	3,324	2,646	0,079
$V, \%$	13	21	42	33	58	25	4	3	14
$\theta$	0,381	0,041	4,571	0,200	0,079	0,578	2,59	2,112	0,067
$M_d$	4,00	0,27	12,51	0,68	0,20	1,86	79,21	89,28	0,60

Таблица 4  
Table 4

Результаты статистической обработки данных о содержании токсичных микроэлементов в глинах (скважина 45-б, интервал 18,0–49,0 м;  $n = 19$ )  
Results of statistical processing of data on the content of toxic microelements in clays (geological borehole 45-b, interval 18.0–49.0 m;  $n = 19$ )

П	Микроэлементы, ppm									$Z_c$
	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Pb	As	F	
$X_{cp}$	136	77	11	25	31	77	29	9	661	16
$X_{min}$	98	62	6	13	21	41	21	7	447	10
$X_{max}$	217	97	24	37	71	149	50	17	925	23
$\sigma$	28,63	12,16	5,17	7,39	11,23	31,32	6,71	2,98	143,51	4,03
$V, \%$	21	16	47	29	37	71	23	33	22	25
$\theta$	20,96	9,96	3,99	5,93	6,97	25,13	4,37	2,22	122,18	3,48
$M_d$	136	78	9	25	29	64	27	9	663	15

Примечание: ppm = 0,0001%;  $Z_c$  — показатель загрязнения.

*Sphagnum* (до 65,9%). Данный спектр отражает климатические условия холоднее современных, вероятнее всего, холодной эпохи среднего плейстоцена (криохрон).

Второй образец (19–45,0 м) характеризуется следующим таксономическим составом палиноспектра: основное положение в группе хвойных растений занимает пыльца *Pinus s/g Haploxylo* (до 66,7%), в подчиненном состоянии находятся пыльцевые таксоны *Picea* (до 11,1%), *Pinus s/g Diploxylo* (до 4,8%), а также представитель семейства Хвойниковые — хвойник *Ephedra*; среди мелколиственных растений преобладает пыльца *Betula sect. Albae* (до 11,4%), *Betula sp.* (до 11,2%) и *Alnus* (до 8,0%); в группе трав сумма разнотравья достигает 100%; среди спор преобладают таксоны *Polypodiaceae* (87,9–100,0%). Таксономическая структура этого палиноспектра соответствует условиям относительного потепления в период межледниковья (термохрон —  $Q_1$ ).

Для указанных образцов рассчитаны геохимические коэффициенты ( $K_z$ ,  $CIA$ ,  $CIW$ ), значения которых при похолодании (криохрон) снижаются, при потеплении (термохрон) повышаются<sup>1</sup>. Эти коэффициенты подтвердили ситуацию: в первом случае (образец с глубины 15–39,5 м) они составляют 10,1 ( $K_z$ ); 75,7 ( $CIA$ ); 89,2 ( $CIW$ ), во втором (образец с глубины 19–45,0 м) — соответственно

21,3; 84,4; 93,2. Таким образом, впервые проведенные геохимические исследования четвертичных глин, входящие в «первый круг» комплексной аналитики, выполнили роль корреляционного критерия, связанного с климатическими изменениями.

#### Микроэлементный состав

Группа токсичных микроэлементов. По результатам статистической обработки данных установлено, что первые места занимают фтор и ванадий, далее следуют хром и цинк (табл. 4). Степень изменчивости компонента в группировке оценивается по коэффициенту вариации ( $V, \%$ ). Нестабильное распределение ( $V > 30\%$ ) отмечается для Zn, Co, Cu, As.

Коэффициенты концентрации микроэлементов, представляющие отношение их содержания (среднего или максимального) к величине кларка по А.П. Виноградову ( $K_c$ ), распределяются следующим образом (табл. 5). Очень высокие значения характерны для мышьяка; превышают кларковые содержания свинец и ванадий; минимальный коэффициент концентрации отмечается для никеля; при расчете по максимальным содержаниям высокий коэффициент установлен для цинка, меди, фтора и кобальта.

**Коэффициенты концентрации токсичных микроэлементов в глинах (скважина 45-б, интервал 18,0–49,0 м; n = 19)**  
Concentration coefficients of toxic microelements in clays (geological borehole 45-b, interval 18.0–49.0 m; n = 19)

П	Микроэлементы																	
	V		Cr		Co		Ni		Cu		Zn		Pb		As		F	
	<i>X<sub>ср</sub></i>	<i>X<sub>max</sub></i>																
<i>C</i>	136	217	77	97	11	24	25	37	31	71	77	149	29	50	9	17	661	925
<i>Ckl</i>	90		83		18		58		47		83		16		1,7		660	
<i>K<sub>c</sub></i>	1,51	2,4	0,92	1,17	0,61	1,33	0,43	0,64	0,66	1,51	0,93	1,80	1,81	3,12	5,30	10,0	1,00	1,40

Примечание: *C* — содержание микроэлемента (среднее и максимальное значения, ppm); *Ckl* — кларк по А.П. Виноградову (ppm); *K<sub>c</sub>* — коэффициент концентрации (*C/Ckl*).

В алевролитах и переходной зоне фиксируется снижение концентрации ( $K_c < 1$ ) всех указанных токсичных компонентов, исключение составляет свинец ( $K_c = 1,4–2,6$ ) и мышьяк ( $K_c = 8,8–10,6$ ). Таким образом, этот коэффициент также можно отнести к числу критериев границы между четвертичными глинами и образованиями неогена. Общим признаком с глинистой толщей является высокий коэффициент концентрации мышьяка, повышенное содержания фтора (499–786 ppm) и серы (70–344 ppm).

Проведены расчеты показателя загрязнения глинистой толщи ( $Z_c$ ), и выполнена статистическая обработка данных (см. табл. 4). Среднее значение  $Z_c$  равно 16 (диапазон изменений 10–23), распределение по разрезу относительно стабильное ( $V < 30\%$ ). Таким образом, ситуация по загрязнению четвертичных глин является преимущественно удовлетворительной ( $Z_c \leq 16$ ), но в восьми образцах (из 19) показатель увеличивается до 17–23 (критический уровень). В алевролитах и переходной зоне степень загрязнения токсичными микроэлементами аналогична ( $Z_c = 8–27$ ).

*Группа преобладающих и второстепенных микроэлементов.* Для преобладающих (содержание преимущественно > 100 ppm) и второстепенных (содержание преимущественно < 50 ppm) микроэлементов выполнена статистическая обработка данных, и по средним значениям рассчитаны коэффициенты концентрации ( $K_c$ ). Среди преобладающих компонентов кларковые значения превышает цирконий (1,34), среди второстепенных — молибден (7,27), лантан (1,59), иридий (1,24).

Таким образом, из числа 25 микроэлементов, содержание которых определялось в глинах, лидерами по величине коэффициента концентрации являются молибден (7,27), мышьяк (5,30) и цирконий (1,34).

**Глинистые минералы**

Методом РСА исследовано 14 образцов глин. Все пробы имеют однотипные дифракционные картины, указывающие на преобладание смектита несовершенной структуры и гидрослюды; отмечается примесь каолинита и следы хлорита (рис. 3). Ведущая роль смектита подтверждается способностью глин к набуханию (4,6–8,1%). Обнаружено четкое изменение минеральной ассоциации при переходе от четвертичных глин к алевролитам неогеного возраста: вместо смектита и гидрослюды (имеются толь-

ко их следы) в качестве главного компонента фиксируется каолинит (рис. 4).

Основной компонент в пробе глины с глубины 11–34 м — смектит ( $d = 13,1; 4,46$ ), присутствуют гидрослюда ( $d = 10,0; 4,97; 3,34$ ), каолинит ( $d = 7,17; 3,57; 2,38$ ), кварц ( $d = 4,24; 3,34$ ), полевой шпат ( $d = 3,24; 3,19$ ) (Å).

Основной компонент в пробе алевролита — каолинит ( $d = 7,3; 3,58$ ), следы гидрослюды ( $d = 10,2; 5,0; 3,36$ ) и смектита ( $d = 17,7$ ) (Å).

Смектиты иногда называют «эмбриональной» кристаллической фазой, которая может трансформироваться в более устойчивые и стабильные слоистые силикаты: первоначально смешанослойные, затем слюды или хлориты [11]. Возможно, в исследованных образцах четвертичных глин смектит в основном сохранил свою «эмбриональную» фазу и значительной трансформации не подвергался.

**Карбонаты, водорастворимые соли, подвижные формы оксида алюминия, гумус**

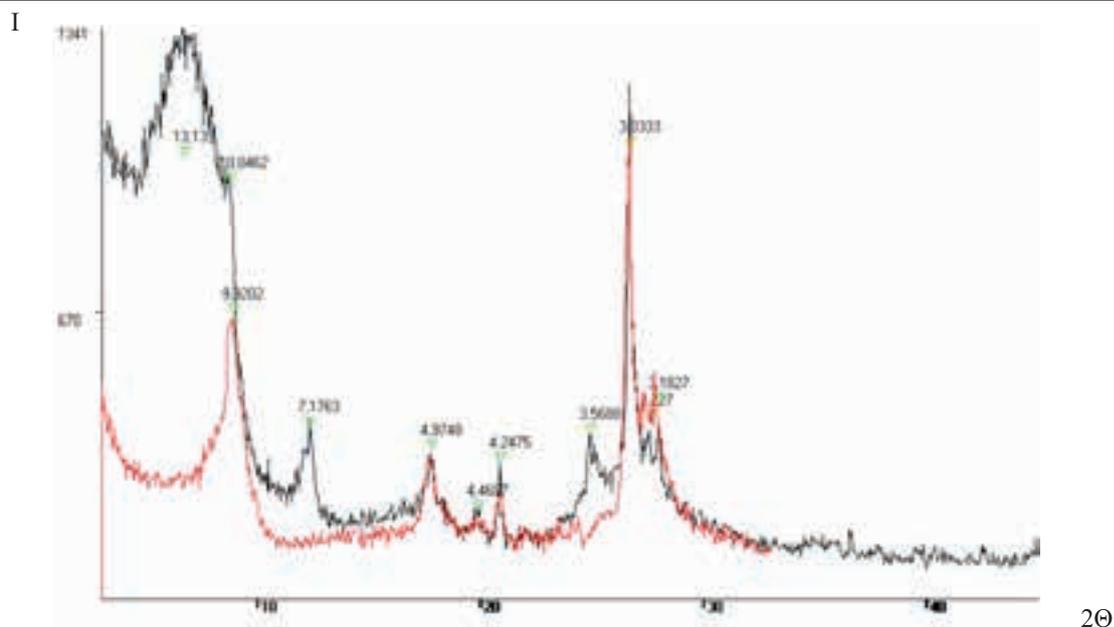
Статистическая обработка данных показывает, что распределение карбонатов в глинах неоднородно, в том числе преобладающего в их составе  $Fe_2CO_3$  ( $V > 30\%$ ); содержания солей кальция и магния практически одинаковы, только для второго компонента изменчивость более высокая; содержание водорастворимых солей менее 0,5% (предположительно, это тоже признак отложений аллювиально-озерного генезиса) (табл. 6).

К числу особенностей четвертичных глин Приханкайской впадины относится повышенное содержание аморфных (подвижных) форм оксида алюминия (максимальное значение 8,11%). По сравнению с другими геолого-генетическими комплексами глинистых и лессовых отложений разница весьма существенна. Например, в суглинках Забайкалья (d<sub>рQ</sub>) этот компонент составляет всего 0,04–1,50%, в лессовидных суглинках и супесях Верхнего Приангарья, район Иркутска (d<sub>Q3</sub>) — 1,1–3,4% [16]. Возможно, эта особенность глин также является признаком их аллювиально-озерного генезиса.

Второстепенным компонентом оказался гумус (среднее содержание 1,43%), но стабильность в распределении отсутствует ( $V > 30\%$ ).

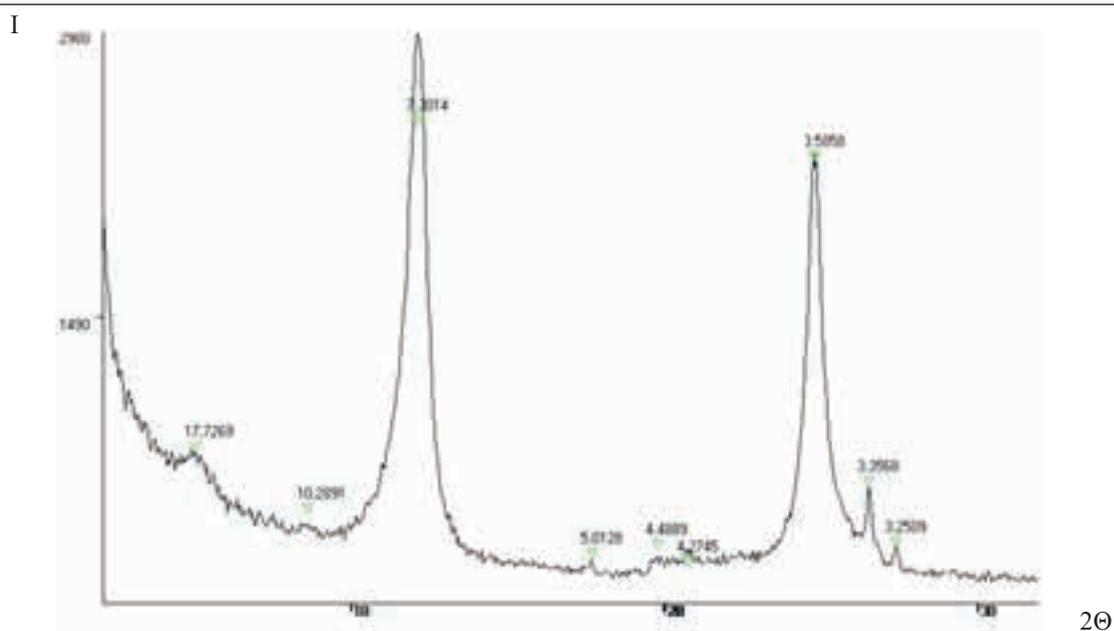
**Микроструктура**

Проведена статистическая обработка данных о содержании семи параметров микроструктуры глин, и по сред-



**Рис. 3.** Дифракционная картина исследования воздушно-сухого и прокаленного образцов глины (11–34,0 м, средний плейстоцен): вертикальная ось (I) — интенсивности дифракционных максимумов, импульсы/сек; горизонтальная ось ( $2\theta$ ) — экспериментально измеренные значения углов отражения в ангстремах

**Fig. 3.** Diffraction pattern of the study of the air-dry and ignited clay samples (11–34.0 m, Middle Pleistocene): vertical axis (I) is the intensity of diffraction maxima, pulses/sec; the horizontal axis ( $2\theta$ ) is the experimentally measured values of reflection angles in angstroms



**Рис. 4.** Дифракционная картина исследования образца алевролита (24–59,7 м, неогеновый период), насыщенного этиленгликолем: вертикальная ось (I) — интенсивности дифракционных максимумов, импульсы/сек; горизонтальная ось ( $2\theta$ ) — экспериментально измеренные значения углов отражения в ангстремах

**Fig. 4.** Diffraction pattern of the study of the aleurolite sample saturated with ethylene alcohol (24–59.7 m, Neogene period): vertical axis (I) is the intensity of diffraction maxima, pulses/sec; the horizontal axis ( $2\theta$ ) is the experimentally measured values of reflection angles in angstroms

ним значениям ( $n = 16$ ) представлена общая картина их взаимоотношений (рис. 5).

Установлено, что исследованные глины характеризуются агрегированным типом микроструктуры ( $A > 40\%$ ) с преобладанием тонко-мелкопесчаных (A2) и пылеватых (A3) агрегатов. Среди первичных (свободных) частиц главную роль играют крупнопылеватые (M3), «мелкой пы-

ли» в два раза меньше, тонкоглинистых частиц (M6) всего 2,5%. В то же время отмечается высокая «реальная глинистость» (M8), соответствующая глинам (33,8% — общее содержание фракции  $< 0,002$  мм в свободном состоянии и в агрегатах).

Коэффициенты свободы (F6, F5, F4) свидетельствуют о том, что агрегаты состоят преимущественно из тонко-

**Статистическая обработка данных о содержании в глинах карбонатов, солей, подвижных форм оксида алюминия и гумуса (скважина 45-б, интервал 18,0–49,0 м;  $n = 8$ )**  
**Statistical processing of data on the content of carbonates, salts, mobile forms of aluminum oxide, humus in clays (geological borehole 45-b, interval 18.0–49.0 m;  $n = 8$ )**

П	Компоненты, %						
	$S_{кр}$	$CaCO_3$	$FeCO_3$	$MgCO_3$	$S_{вр}$	$Al_2O_3^*$	$C_{орг}$
$X_{ср}$	8,84	1,75	4,53	1,34	0,267	4,60	1,43
$X_{min}$	5,42	1,12	2,90	0,76	0,201	3,15	0,82
$X_{max}$	20,64	2,24	15,13	3,05	0,405	8,11	2,10
$\sigma$	5,070	0,467	4,431	0,791	0,065	1,676	0,519
$V, \%$	57	27	98	59	24	36	36
$\theta$	3,461	0,368	2,867	0,575	0,046	1,204	0,441
$Md$	7,17	1,68	2,98	1,46	0,252	4,33	1,29

Примечание:  $S_{кр}$ ,  $S_{вр}$ ,  $Al_2O_3^*$ ,  $C_{орг}$  — соответственно общее содержание карбонатов, водорастворимых солей, подвижных форм оксида алюминия, гумуса (%).

глинистых частиц, поскольку свободными являются только 13% от их общего содержания; кроме того, в образовании агрегатов принимают участие грубоглинистые ( $F5 = 25\%$ ) и мелкопылеватые ( $F4 = 54\%$ ) частицы, остальные практически свободны (рис. 6).

Структурная модель глин, которая, как указывалось выше, определяется по двум позициям, имеет следующий вид:  $X_3 44 G_3 69$  (крупнопылеватая смешанная). Таким образом, глины «работают» как крупнопылеватые отложения, в которых преобладают агрегаты и первичные (свободные) частицы этой размерности (0,05–0,01 мм). Их общая сумма ( $X_3$ ) составляет 44%; доля первичных компонентов 69%, агрегатов (соответственно) — 31%.

Участие в образовании агрегатов нескольких фракций можно считать признаком аллювиально-озерного генезиса «ханкайских» глин. В водной среде происходило постепенное осаждение материала разной крупности; при участии аморфных форм оксида алюминия, железистых карбонатов, органики формировались сингенетические агрегаты; в постдиагенетическую стадию глины пережили криогенные воздействия (криохроны), тогда, возможно, образовались эпигенетические пылеватые агрегаты и возникли макропоры. Появление частиц пепла — явный признак периодического участия золотых процессов.

### Свойства

*Физико-химическая активность* глин оценивается величиной емкости катионного обмена ( $EKO$ , мг-экв на 100 г вещества). Измерения выполнены для 12 образцов: среднее значение составило 31,0 мг-экв при диапазоне изменений от 10,5 (глубина отбора образца 34,0 м) до 52,4 мг-экв (глубина отбора образца 20,0 м). Возможно, причиной разнородной физико-химической активности глин является различное содержание смектита в образцах при его постоянном присутствии (к сожалению,  $РСА$  не дает количественных соотношений глинистых минералов). Известно, например, что увеличение  $EKO^1$  (в данном исследовании емкость обмена фракции < 0,001 мм, но не породы в целом) с 26 до 51 мг-экв про-

исходит с возрастанием содержания смектита от 37 до 73% [23].

*Водоустойчивость* глин определялась для воздушно-сухих образцов ненарушенного сложения по времени их размокания ( $T$ ) в приборе ПРГ-1. Поскольку все исследования проводились для глин в подобном (воздушно-сухом) состоянии, то появилась необходимость получить общую картину их поведения и установить, по возможности, факторы влияния.

Выделяется несколько типов грунтов: мгновенное размокание (I) — менее одной минуты, очень быстрое (II) — до 30 минут, быстрое (III) — до одного часа, медленное (IV) — до шести часов, очень медленное (V) — до 24 часов; образец, который не разрушается более 24 часов, считается водоустойчивым (VI) [22].

Определения водоустойчивости выполнены для 21 образца. 12 объектов (57%) оказались очень быстро размокаемыми (II тип — 2–18 мин) и 6 (28%) попали в группу водоустойчивых (VI тип — более двух суток); два образца (10%) представляли III тип (35–40 мин) и один (5%) — IV (1 час 8 мин); мгновенно размокаемые разновидности отсутствовали.

Таким образом, глины в воздушно-сухом состоянии в большинстве случаев размокают очень быстро (но не мгновенно) или, наоборот, являются водопрочными. Вероятнее всего, низкую водоустойчивость глин (II тип) определили слабые структурные связи внутри агрегатов, состоящих из различных по размерам частиц (тонкоглинистых, мелкопылеватых и крупнопылеватых), и, возможно, присутствие там же аморфного оксида алюминия. В неразмокаемых разновидностях (VI тип), по-видимому, основную роль играли пелитоморфные железистые карбонаты.

*Плотность минеральной части* глин в среднем составляет 2,56 г/см<sup>3</sup> ( $n = 16$ ), распределение этого показателя по разрезу почти постоянно (коэффициент вариации всего 3%), поэтому можно предположить, что содержание терригенных тяжелых минералов в исследованной толще однородно.

*Относительное (свободное) набухание.* Это свойство определялось на образцах-пастах. Величина набухания

составила 4,6–8,1%, поэтому глины относятся к набухающим разновидностям, что подтверждается составом глинистых минералов (преобладает смектит).

**Пластичность.** Число пластичности было получено по прогнозным формулам с использованием только предела текучести ( $W_L$ ):  $I_p 1 = 0,75 \cdot W_L - 11$  (№ 1);  $I_p 2 = 0,8 \cdot W_L - 14$  (№ 2);  $I_p 3 = 0,599 \cdot W_L - 0,079$  (№ 3) [17]. Прогнозные расчеты показали, что исследованные глины (10 образцов) имеют пластичность суглинков (10,1–16,9%), при этом отмечалась хорошая сходимость результатов по всем трем формулам.

При сопоставлении расчетного и стандартного методов (для пяти образцов) совпадение результатов (это также были суглинки) составило 100%, для остальных определялся только предел текучести, и при сопоставлении расчетного и стандартного методов совпадение результатов составило от 50% до 73%.

**Седиментационный объем** измерен для 18 образцов, он превысил  $3,3 \text{ см}^3$  (в среднем 3,9) и соответствует группе суглинков (для глины этот показатель  $> 10 \text{ см}^3$ ) согласно классификации потенциально плавучих грунтов.

Таким образом, исследованные четвертичные глины (в скважине 45-б) по причине особенностей микроструктуры приобрели свойства суглинков — по пластичности и седиментационному объему.

## Заключение

На основе имеющихся геолого-литологических материалов и при использовании различных лабораторных методов на примере геологической скважины 45-б (интервал 18,0–62,0 м) получена новая информация о составе, микроструктуре и физико-химических свойствах четвертичных глинистых, широко распространенных в пределах Приханкайской впадины (Приморье).

Детальное визуальное описание воздушно-сухих образцов, представленных для проведения лабораторных исследований, и фоновые данные по документации керна и геологические сведения явились фактической основой для составления схематической геолого-литологической колонки с выделением определенных зон в четвертичной глинистой толще и границы с отложениями неогенового возраста.

Особая информация получена по результатам расчета геохимических коэффициентов. Во-первых, при сравнительном анализе значений  $K_p$ ,  $BA$ ,  $K_z$ ,  $CIA$ ,  $CIW$ ,  $ICV$  установлено, что химическая зрелость регионального субстрата значительно выше химических преобразований глинистой толще, что соответствует теплым гумидным условиям его формирования, которые существовали в неогеновом периоде. Во-вторых, значения коэффициентов  $K_z$ ,  $CIA$ ,  $CIW$ ,  $ICV$  четвертичных глинистых подтвердили возможность изменений климатических условий при их формировании от более холодных (криохрон) до относительно теплых (термохрон), что ранее было установлено по данным палинологических исследований.

При изучении микроэлементного состава глинистых установлена возможность критической ситуации по степени их загрязнения токсичными компонентами ( $Z_c > 16$ ), повышенные коэффициенты концентрации ( $K_c > 1$ ) отмечены для мышьяка, свинца и ванадия.

Состав глинистых минералов глинистых характеризуется преобладанием смектита несовершенной структуры и

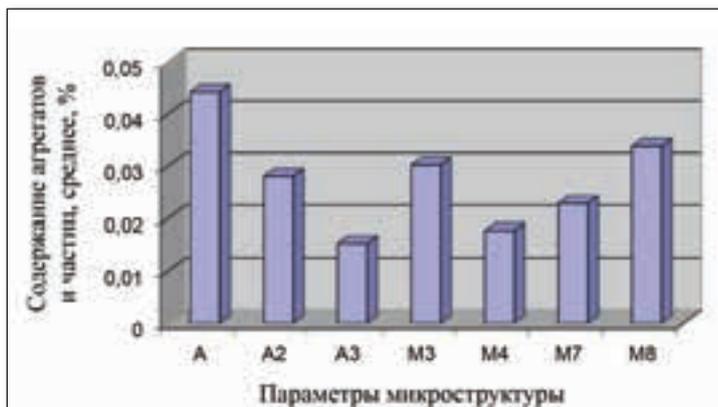


Рис. 5. Параметры микроструктуры четвертичных глинистых: А, А2, А3 — общее количество агрегатов и их разновидностей (0,25–0,05; 0,05–0,01 мм); М3, М4, М6 — содержание крупнопылевых (0,05–0,01 мм), мелкопылевых (0,01–0,002 мм), тонкоглинистых ( $< 0,001$  мм) первичных частиц; М8 — общее содержание свободных и в агрегатах грубо- и тонкоглинистых частиц ( $< 0,002$  мм) («реальная глинистость»)

Fig. 5. The microstructure parameters of the quaternary clay: А, А2, А3 — the total number of aggregates and their varieties (0.25–0.05; 0.05–0.01 mm); М3, М4, М6 — content of primary particles of coarse dust (0.05–0.01 mm), fine dust (0.01–0.002 mm), silt ( $< 0.001$  mm); М8 — the total content of free particles and particles of coarse clay and silt ( $< 0.002$  mm) in aggregates (“real content of clay”)

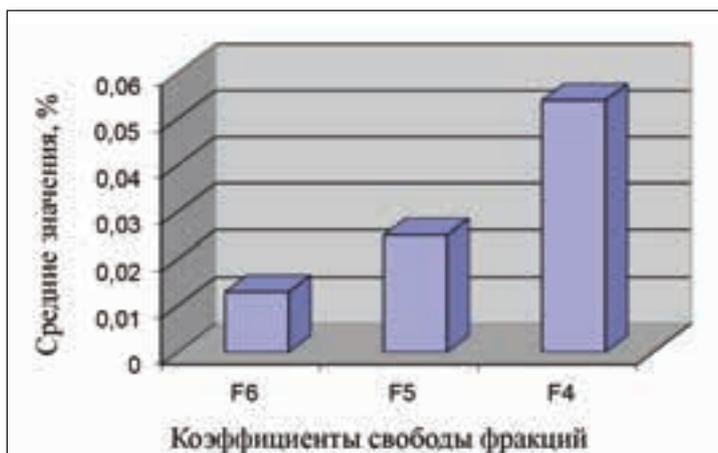


Рис. 6. Коэффициенты свободы тонкоглинистой (F6), грубоглинистой (F5), мелкопылевой (F4) фракций

Fig. 6. Freedom coefficients of silt fraction (F6), coarse clay fraction (F5), fine dust fraction (F4)

присутствием гидрослюд; при переходе к алевролитам неогенового возраста обнаружено четкое изменение минеральной ассоциации — в качестве главного компонента фиксируется каолинит.

По результатам изучения химического, микроэлементного и минерального (глинистые минералы) состава четвертичной глинистой толще и регионального субстрата выявлены критерии их различий.

Содержание и состав карбонатов, водорастворимых солей и подвижных (аморфных) оксидов алюминия дополняют общую картину состава «ханкайских» глинистых: отмечается нестабильное распределение карбонатов при ведущей роли  $\text{FeCO}_3$ , несущественная роль водорастворимых солей и повышенное количество аморфных оксидов алюминия.

По методу «Микроструктура», который впервые применялся при изучении четвертичных глин, установлены типы микроструктуры (агрегированный) и структурной модели (крупнопылеватый смешанный); представлен возможный вариант формирования сингенетических и эпигенетических агрегатов.

Физико-химические свойства «ханкайских» глин обнаружили взаимосвязи с показателями состава и микроструктуры: проявление набухания «обязано» преобладанию смектита; разнородная водоустойчивость связана, возможно, с нестабильным содержанием пелитоморфных железистых

карбонатов и повышенным количеством аморфных оксидов алюминия; агрегированная микроструктура понижает пластичность и величину седиментационного объема.

Предложенную методическую схему комплексных лабораторных исследований глинистых отложений можно рекомендовать для проблемных геолого-литологических разрезов; при инженерно-геологических изысканиях в сокращенном варианте эту схему можно использовать для опорной (контрольной) скважины с целью оценки состава, микроструктуры и физико-химических свойств грунтовой толщи. 

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гиббард Ф.Л., 2015. Четвертичная система (период) и ее основные подразделения. Геология и геофизика, Том 56, № 4, с. 873–875.
2. Горькова И.М., 1965. Структурные и деформационные особенности осадочных пород различной степени уплотнения и литификации. Наука, Москва.
3. Ивашинников Ю.К., 1978. Палеогеоморфология депрессионных морфоструктур юга Дальнего Востока. Наука, Москва.
4. Короткий А.М., Павлюткин Б.И., 1983. Плиоцен-четвертичная граница в зоне перехода от материка к океану (юг Дальнего Востока). В сб. статей под ред. С.А. Архипова, Стратиграфия пограничных отложений неогена и антропогена Сибири, Изд-во Института геологии и геофизики Сибирского отделения АН СССР, Новосибирск, с. 85–100.
5. Короткий А.М., Караулова Л.П., Троицкая Т.С., 1980. Четвертичные отложения Приморья. Стратиграфия и палеогеография. Новосибирск, Наука.
6. Короткий А.М., Гребенникова Т.А., Караулова Л.П., Белянина Н.И., 2007. Озерные трансгрессии в позднекайнозойской Уссури-Ханкайской депрессии (Приморье). Тихоокеанская геология, Том 26, № 4, с. 53–68.
7. Ларионов А.К., Приклонский В.А., Ананьев В.П., 1959. Лессовые породы СССР и их строительные свойства. Госгеолтехиздат, Москва.
8. Ломтадзе В.Д., 1999. Словарь по инженерной геологии. Санкт-Петербургский горный институт, Санкт-Петербург.
9. Лукашев В.К., 1970. Геохимия четвертичного литогенеза. Наука и техника, Минск.
10. Никольская В.В., 1952. Некоторые данные о палеогеографии озера Ханка. Труды Института географии АН СССР, Вып. 51, с. 215–225.
11. Осипов В.И., Соколов В.Н., 2013. Глины и их свойства. ГЕОС, Москва.
12. Павлюткин Б.И., Ханчук А.И., 2002. Новые данные о возрасте озера Ханка, Дальний Восток России. Доклады РАН, Том 382, № 6, с. 826–828.
13. Порядин А.Ф., Хованский А.Д., 1996. Оценка и регулирование качества окружающей природной среды. Издательский дом «Прибой», Москва.
14. Ревенко А.Г., 2014. Физические и химические методы исследования горных пород и минералов в Аналитическом центре ИЗК СО РАН. Геодинамика и тектонофизика, Том 5(1), с. 101–114.
15. Рященко Т.Г., 2010. Региональное грунтоведение (Восточная Сибирь). Институт земной коры СО РАН, Иркутск.
16. Рященко Т.Г., Акулова В.В., Ухова Н.Н., Штельмах С.И., Гринь Н.Н., 2014. Лессовые грунты Монголо-Сибирского региона. Институт земной коры СО РАН, Иркутск.
17. Рященко Т.Г., Тирских С.А., 2016. Определение пластичности глинистых и лессовых грунтов: оценка расчетного метода и рекомендации. Инженерные изыскания, № 8, с. 10–14.
18. Рященко Т.Г., Ухова Н.Н., 2008. Химический состав дисперсных грунтов: возможности и прогнозы (Восточная Сибирь). Институт земной коры СО РАН, Иркутск.
19. Рященко Т.Г., Ухова Н.Н., Штельмах С.И., Белянина Н.И., Белянин П.С., 2011. Гипотезы формирования бурых суглинков Приморья: ретроспектива и новый взгляд (Дальний Восток России). Тихоокеанская геология, № 3, с. 80–92.
20. Сагт Ю.Е., Ревич Б.А., Янин Е.П., Смирнова Р.С., Базаревич И.Л., Онищенко Т.Л., Павлова Л.Н., Трефилова Н.Я., Ачкасов А.И., Саркисян С.Ш., 1990. Геохимия окружающей среды. Недра, Москва.
21. Ханчук А.И., 2000. Рудные месторождения континентальных окраин. Дальнаука, Владивосток, с. 5–34.
22. Цзе Чжан, Николаева С.К., 2010. Особенности размокания покровных суглинков Подмосковья и красных глин Китая. Геоэкология, № 2, с. 85–88.
23. Lin B., Cerato A.B., 2012. Prediction of expansive soil swelling based on four micro-scale properties. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, Vol. 71, Issue 1, pp. 71–78, <https://doi.org/10.1007/s10064-011-0410-7>.
24. Yang T.-L., Gong S.-L., 2010. Microscopic analysis of the engineering geological behavior of soft clay in Shanghai, China. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, Vol. 69, Issue 4, pp. 607–615.

## REFERENCES

1. Gibbard Ph.L., 2015. The Quaternary system/period and its major subdivisions. *Geology and Geophysics*, Vol. 56, No. 4, pp. 873–875. (in Russian)
2. Gorkova I.M., 1965. Structural and deformation features of sedimentary rocks of varying degrees of compaction and lithification. Nauka, Moscow. (in Russian)
3. Ivashinnikov Yu.K., 1978. Paleogeomorphology of depression morphostructures of the south of the Far East. Nauka, Moscow. (in Russian)
4. Korotky A.M., Pavlyutkin B.I., 1983. Pliocene-Quaternary boundary in the transition zone from the mainland to the ocean (south of the Far East). In a collection of articles, S.A. Arkhipova (ed.), *Stratigraphy of the border sediments of the Neogene and Anthropogenic Siberia*, Publishing House of the Institute of Geology and Geophysics, Siberian Branch of the USSR Academy of Sciences, Novosibirsk, pp. 85–100. (in Russian)
5. Korotky A.M., Karaulova L.P., Troitskaya T.S., 1980. Quaternary deposits of Primorye. *Stratigraphy and paleogeography*. Novosibirsk, Nauka. (in Russian)
6. Korotky A.M., Grebennikova T.A., Karaulova L.P., Belyanina N.I., 2007. Lacustrine transgressions in the late Cenozoic Ussuri-Khanka depression (Primor'e), *Russian Journal of Pacific Geology*, Vol. 26, No. 4, pp. 53–68. (in Russian)
7. Larionov A.K., Priklonsky V.A., Ananyev V.P., 1959. Loessian rocks of the USSR and their construction properties. Gosgeoltekhizdat, Moscow. (in Russian)
8. Lomtadze V.D., 1999. Dictionary of engineering geology. St. Petersburg Mining Institute, St. Petersburg. (in Russian)
9. Lukashev V.K., 1970. Geochemistry of Quaternary lithogenesis. Science and technology, Minsk. (in Russian)
10. Nikolskaya V.V., 1952. Some data on the paleogeography of Lake Khanka. *Proceedings of the Institute of Geography of the USSR Academy of Sciences*, Vol. 51, pp. 215–225. (in Russian)
11. Osipov V.I., Sokolov V.N., 2013. Clays and their properties. GEOS, Moscow. (in Russian)
12. Pavlyutkin B.I., Khanchuk A.I., 2002. New data on the age of Lake Khanka, the Far East of Russia. *Reports of the Russian Academy of Sciences*, Vol. 382, No. 6, pp. 826–828. (in Russian)
13. Prishin A.F., Khovansky A.D., 1996. Assessment and regulation of the quality of the environment. Publishing House "Priboy", Moscow. (in Russian)
14. Revenko A.G., 2014. Physical and chemical methods of researching rocks and minerals in the Analytical Centre of the Institute of the Earth's Crust, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences. *Geodynamics and tectonophysics*, Vol. 5(1), pp. 101–114. (in Russian)
15. Ryashchenko T.G., 2010. Regional Soil Science (Eastern Siberia). Institute of the Earth's Crust of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk. (in Russian)
16. Ryashchenko T.G., Akulova V.V., Ukhova N.N., Shtelmakh S.I., Grin N.N., 2014. Loess soils of the Mongolian-Siberian region. Institute of the Earth's Crust of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk. (in Russian)
17. Ryashchenko T.G., Tirsikh SA, 2016. Determination of Plasticity Index of Clay and Loess Soils: Evaluation of Computational Method and Recommendations. *Engineering survey*, No. 8, pp. 10–14. (in Russian)
18. Ryashchenko T.G., Ukhova N.N., 2008. The chemical composition of dispersed soils: opportunities and predictions (Eastern Siberia). Institute of the Earth's Crust of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk. (in Russian)
19. Ryashchenko T.G., Ukhova N.N., Shtelmakh S.I., Belyanin N.I., Belyanin P.S., 2011. Hypotheses of the brown loam formation in the Primorye region (Russian Far East): Hindsight and the new view. *Russian Journal of Pacific Geology*, No. 3, pp. 80–92. (in Russian)
20. Saet Yu.E., Revich B.A., Yanin E.P., Smirnova R.S., Bazarevich I.L., Onishchenko T.L., Pavlova L.N., Trefilova N.Ya., Achkasov AI, Sarkisyan S.Sh., 1990. *Environmental Geochemistry*. Nedra, Moscow. (in Russian)
21. Khanchuk A.I., 2000. Ore deposits of continental margins. *Dal'nauka*, Vladivostok, pp. 5–34. (in Russian)
22. Zhang Ze, Nikolayeva S.K., 2010. Features of the soaking of Moscow region covering loam and Chinese red day. *Geoecology*, No. 2, pp. 85–88. (in Russian)
23. Lin B., Cerato A.B., 2012. Prediction of expansive soil swelling based on four micro-scale properties. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, Vol. 71, Issue 1, pp. 71–78, <https://doi.org/10.1007/s10064-011-0410-7>.
24. Yang T.-L., Gong S.-L., 2010. Microscopic analysis of the engineering geological behavior of soft clay in Shanghai, China. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, Vol. 69, Issue 4, pp. 607–615.

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

## РЯЩЕНКО ТАМАРА ГУРЬЕВНА

*Ведущий научный сотрудник лаборатории инженерной геологии и геоэкологии Института земной коры Сибирского отделения Российской академии наук, д.г.-м.н., профессор, г. Иркутск, Россия*

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

## TAMARA G. RYASHCHENKO

*Leading research scientist of the Laboratory of Engineering Geology and Geoecology, Institute of the Earth's Crust of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, DSc (Doctor of Science in Geology and Mineralogy), professor, Irkutsk, Russia*

**УХОВА НАТАЛИЯ НИКОЛАЕВНА**

Старший научный сотрудник Центра коллективного пользования «Геодинамика и геохронология» Института земной коры Сибирского отделения Российской академии наук, к.г.-м.н., г. Иркутск, Россия

**ШТЕЛЬМАХ СВЕТАНА ИВАНОВНА**

Научный сотрудник Центра коллективного пользования «Геодинамика и геохронология» Института земной коры Сибирского отделения Российской академии наук, к.г.-м.н., г. Иркутск, Россия

**БЕЛЯНИНА НИНА ИГНАТЬЕВНА**

Ведущий инженер лаборатории палеогеографии и геоморфологии Тихоокеанского института географии Дальневосточного отделения Российской академии наук, г. Владивосток, Россия

**БЕЛЯНИН ПАВЕЛ СЕРГЕЕВИЧ**

Старший научный сотрудник лаборатории палеогеографии и геоморфологии Тихоокеанского института географии Дальневосточного отделения Российской академии наук, к.г.н., г. Владивосток, Россия

**NATALIA N. UKHOVA**

Senior research scientist of the Center for collective use "Geodynamics and geochronology", Institute of the Earth's Crust of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, PhD (Candidate of Science in Geology and Mineralogy), Irkutsk, Russia

**SVETLANA I. SHELMAKH**

Research scientist of the Center for collective use "Geodynamics and geochronology", Institute of the Earth's Crust of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, PhD (Candidate of Science in Geology and Mineralogy), Irkutsk, Russia

**NINA I. BELYANINA**

Leading engineer of the Laboratory of Paleogeography and Geomorphology, Pacific Geographical Institute of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Vladivostok, Russia

**PAVEL S. BELYANIN**

Senior research scientist of the Laboratory of Paleogeography and Geomorphology Pacific Geographical Institute of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, PhD (Candidate of Science in Geography), Vladivostok, Russia



<https://a.d-cd.net/5f080f6s-1920.jpg>