

# РЕКОНСТРУКЦИЯ ПАЛЕОГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ВЕРХНЕПЕРМСКОГО ОСАДОЧНОГО БАСЕЙНА ПРИКАМЬЯ

А.В. Лаломов<sup>1\*</sup>, Г. Берто<sup>2</sup>, В.Г. Изотов<sup>3</sup>, Л.М. Ситдикова<sup>3</sup>, М.А. Тугарова<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН, Москва, Россия

<sup>2</sup>French Politechnics School ingeneer, Париж, Франция

<sup>3</sup>Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Россия

<sup>4</sup>ООО "Газпромнефть НТЦ", Санкт-Петербург, Россия

На основе данных по гранулометрическому составу и текстурным особенностям верхнепермских отложений бассейна р. Камы сделана реконструкция палеогидродинамических параметров бассейна осадконакопления. Проведенная реконструкция палеолитодинамических параметров показала, что реальное время формирования этой толщи (продолжительность седиментации) значительно меньше соотносимого с ней интервала стратиграфической шкалы, что соответствует инъективному типу седиментогенеза. Такая ситуация встречается и в других осадочных формациях как платформенных, так и складчатых областей. Необходимо учитывать эту закономерность при интерпретации условий образования осадочной колонки и прогноза осадочных полезных ископаемых (в первую очередь, углеводородов).

**Ключевые слова:** палеогидродинамика, реконструкции, скорость седиментации, стратиграфическая шкала, полезные ископаемые

**DOI:** <http://doi.org/10.18599/grs.19.2.3>

**Для цитирования:** Лаломов А.В., Берто Г., Изотов В.Г., Ситдикова Л.М., Тугарова М.А. Реконструкция палеогидродинамических параметров верхнепермского осадочного бассейна Прикамья. *Георесурсы*. 2017. Т. 19. № 2. С. 103-110. DOI: <http://doi.org/10.18599/grs.19.2.3>

Исследования литологических особенностей (гранулометрического состава и текстур) осадочных пород, а также условий седиментации в натуральных условиях и лабораторных экспериментах позволяют проводить реконструкции палеогидродинамических условий осадочных бассейнов. Эксперименты в лабораторных лотках продемонстрировали, что в условиях пульсирующего потока стратифицированные слои одновременно образуются и наращиваются в направлении потока (Берто, 2002). Этот результат в масштабе слоев соответствует закону Головкинского – Иностранцева – Вальтера (Middleton, 1973; Романовский, 1988а) в масштабе фаций, согласно которому одна и та же последовательность фаций наблюдается в вертикальном и латеральном направлениях.

Результаты инженерно-геологических исследований, примененные для создания палеогидродинамических реконструкций, позволили дать количественную оценку седиментационным процессам. Определенное соотношение между гидродинамическими условиями осадконакопления и текстурами современных осадков (подводные знаки ряби, дюны и горизонтальная слоистость) было установлено на основании прямых наблюдений и экспериментальных данных. Примерами этого являются исследования, проведенные Д.Рубиным и Д. Маккаллохом (Rubin, McCulloch, 1980) в условиях залива Сан-Франциско, а также Дж. Соутхардом и Дж. Богучвалом (Southard, Boguchwal, 1990) в экспериментальных лотках. В то же время Ф. Хьюлстромом и его последователями (Hjulstrom, 1935; Лебедев, 1959; и др.) была определена минимальная скорость, требуемая для переноса и отложения частиц разных размеров при данной

глубине бассейна осадконакопления. Параметры эрозионных процессов исследовались в экспериментальных условиях во Всесоюзном институте гидротехники (ВНИИГ), Санкт-Петербург (Берто и др., 2010) Установленные соотношения могут применяться, в частности, к обломочным породам типа галечников и песчаников, которые представляют собой первую стадию трансгрессивного морского цикла. Такой цикл является результатом комплексного процесса: эрозия – перенос – осаждение, инициируемого первоначально мощным потоком в условиях мелководного бассейна. Из этих данных может быть определена емкость палеопотока и минимальная для данного осадка скорость потока. Эти два критерия определяют время отложения осадочной формации.

Исследуемая территория относится преимущественно к зоне развития казанского яруса средней перми, отложения которого были описаны в 19-м веке Н.А. Головкинским, сформулировавшим по результатам своих исследований закон «корреляции фаций». Выявленные им закономерности имеют качественный характер. Проведенные исследования отложений казанского яруса позволили дать количественную оценку процессам седиментации и произвести реконструкцию палеогидродинамических условий бассейна с использованием метода Эйнштейна (Einstein, 1950).

## Геологическое строение, история развития бассейна и литология отложений

К началу средней перми к западу от Урала формируется зона устойчивых прогибаний – среднепермский седиментационный бассейн. В стадию максимальных прогибаний, приходящихся на казанское время, этот бассейн представлял собою двойную седиментационную систему – морскую в западной части и типичную молассовую

\* Ответственный автор: Александр Валерианович Лаломов  
E-mail: [lalomov@mail.ru](mailto:lalomov@mail.ru)

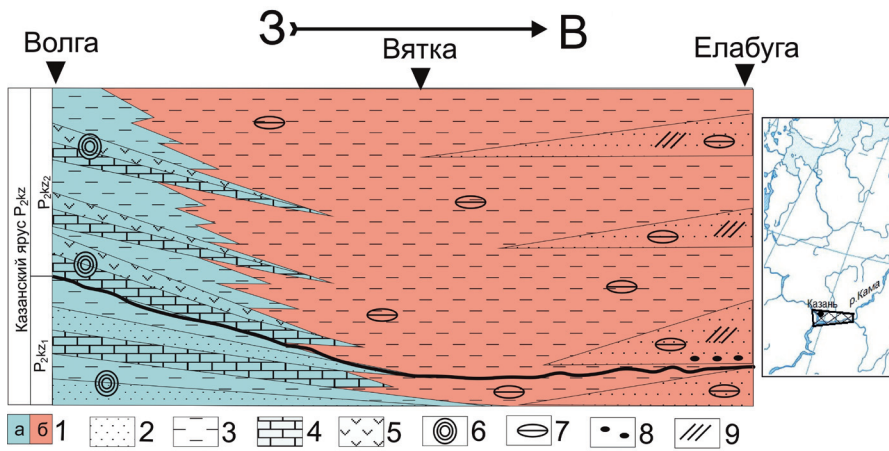


Рис. 1. Схема сочленения литофаций казанского яруса нижнего течения р.Кама (Геологические ..., 2007, с дополнениями). 1-5 – отложения: 1а – морские и лагунные, 1б – континентальные красноцветные, 2 – песчаные, 3 – мергельно-глинистые с линзами песчаников, 4 – морские карбонатные, 5 – лагунные карбонатно-гипсоносные; 6-7 – фауна: 6 – морская, 7 – неморская; 8 – галечники; 9 – косослоистые серии в песчаниках

(континентальную) в восточной. (Геология ..., 2003). В разрезе отложений выделяются нижняя и верхняя толщи казанского яруса  $P_2\ kz_1$  и  $P_2\ kz_2$  (Рис. 1).

Последовательная смена фаций от преимущественно терригенных на востоке бассейна к карбонатно-глинистым, карбонатным и карбонатно-сульфатным толщам в западной части осложняется мелководными линзообразными телами песчаников и конгломератов, фиксирующих геодинамически активные структуры Татарского свода, разделяющие палеобассейн на западную и восточную зоны. Зона Татарского вала характеризуется наличием песчаников с текстурами косой слоистости, что указывает на влияние палеотечений на процесс седиментации.

Были исследованы отложения Западного казанского палеобассейна к востоку от Татарского вала (г. Елабуга – п. Красный Бор) до разрезов правобережья р.Волги в районе Казани (Печищи). В пределах Западного бассейна в свою очередь выделяются две зоны – западная с преобладанием карбонатного хемобиогенного осадконакопления и восточная, с преобладанием терригенной седиментации (Berthault et al., 2008).

Для реконструкции палеогеодинамических условий были исследованы гранулярный состав и

седиментационные текстуры терригенной составляющей разрезов. Изучение и картирование косой слоистости позволили установить параметры и ориентировку палеотечений бассейна. В казанском бассейне отмечается преобладание палеотечений юго-западных и юго-восточных направлений, что связано с субмеридиональной ориентацией береговой линии и начавшимся развитием структур Татарского свода.

Интенсивность динамики среды осадконакопления в общем случае уменьшалась с востока на запад: в восточной части в песчаных толщах

мощность однонаправленных косослоистых серий достигает 1-1.5 м (Рис. 2); в разрезе отложений присутствуют локальные эрозионные поверхности, часто перекрытые базальным гравийно-галечным конгломератом (Рис. 3).

В центральной части бассейна грубозернистые отложения отсутствуют, мощность косослоистых серий, приуроченных к прослоям и линзам мелко-тонкозернистых песчаников не превышает 0.1-0.2 м, в разрезе преобладают алеврито-глинистые отложения (Рис. 4), которые западнее сменяются карбонатной толщей с прослоями и линзами гипса (Рис. 5).

Литолого-текстурные данные (крупность грубообломочного материала, мощность косослоистых серий и наличие следов размыва) позволяют оценить гидродинамические параметры среды осадконакопления. Диаграмма Рубина и Маккалоха (Rubin, McCulloch, 1980) позволяет установить скорость потока по мощности косослоистых серий: для восточной части бассейна ее можно оценить в 1.4-1.8 м/с; оценка уровня придонных скоростей по диаграмме Хюльстрома (Hjulstrom, 1935) дает величину примерно такого же порядка (0.8-1.2 м/с). Активность гидродинамических процессов убывала как в пространственном отношении с востока на запад по мере удаления от береговой линии, так и во времени (вертикально) по мере развития трансгрессии, что явилось причиной смены фациальных обстановок в латеральном и вертикальном направлениях.

Исследование гранулярного состава отложений показало, что в восточной терригенной части палеобассейна



Рис. 2. Косослоистые серии в песчаниках казанского яруса зоны Татарского свода (Красный бор)



Рис. 3. Локальные поверхности размыва и базальные галечники в зоне Татарского свода (Елабуга)

(Елабуга – Красный бор) средняя крупность отложений варьирует в пределах 0.10-0.14 мм что соответствует классу тонкозернистых песков (Табл. 1). Относительно высокое стандартное отклонение (0.56-0.90 мм) указывает на плохую сортировку отложений. Распределение имеет двух- и трехмодальную форму с пиками в классах менее 0.01 мм, 0.05-0.10 мм и для более крупнозернистых отложений в классе 0.15-0.30 мм, что указывает на наличие нескольких (как минимум, двух) механизмов транспортировки осадков. Вверх по разрезу уменьшается крупность и увеличивается сортированность отложений, базальные пески и галечники сортированы хуже вышележащих более тонких отложений.

Для терригенной части отложений западной части палеобассейна, которые были исследованы на разрезах Сорочьи горы и Камские поляны, также были получены гранулометрические характеристики, но, поскольку, доля таких отложений в карбонатно-глинистых и карбонатно-гипсовых разрезах западной части палеобассейна не превышает 10-20 %, усредненные гранулометрические характеристики терригенных слоев не отражают (существенно завышают) реконструируемые палеогидродинамические параметры.

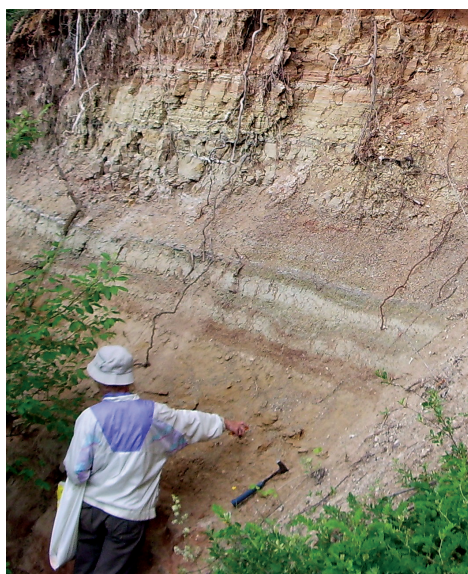


Рис. 4. Алеврито-глинистая толща центральной части казанского бассейна (Камские поляны)



Рис. 5. Толща карбонатных отложений с про- слоями гипса в западной части бассейна (Сорочьи Горы)

В целом, как текстурные, так и гранулометрические характеристики отложений указывают на существенное уменьшение гидродинамической активности западной части палеобассейна и в конце казанского века.

### Расчет параметров потоков наносов

Методы инженерно-геологических расчетов параметров потоков наносов не применимы к хемобиогенным осадкам, поэтому далее реконструкция палеогидродинамических параметров бассейна будет производиться для терригенной глинисто-алеврито-песчаной составляющей разрезов. Проведенный детальный гранулометрический анализ позволяет применить для оценки параметров палеопотока исследуемой зоны метод Эйнштейна (Einstein, 1950).

За последние пятьдесят лет было предложено множество формул для расчета параметров потока наносов; в то же время универсальная методика не разработана до сих пор, каждое из имеющихся уравнений имеет свою область применения. Из нескольких моделей расчета выделяются базовые, претендующие на комплексность и универсальность, и их упрощенные варианты, менее точные и ориентированные на решение частных задач,

но обладающие более простым математическим аппаратом.

В предлагаемых методиках расчет емкости потока наносов производится по гранулометрическим характеристикам отложений и параметрам среды осадконакопления. Для палеогидродинамических реконструкций параметры среды могут быть установлены с некоторыми ограничениями, обусловленными решением обратной задачи: расчет, основанный на гранулометрических характеристиках исследуемых отложений, отражает гидродинамические характеристики потока на стадии седиментации, при этом интенсивность потока на стадии транспортировки наносов, очевидно, была выше.

Одним из базовых при инженерно-геологических литодинамических расчетах является метод Эйнштейна (Einstein, 1950). Метод применим для расчета общего расхода наносов (влекомых и взвешенных). Условиями его применения являются преобладание придонных наносов, перемещаемых волочением и сальтацией, над взвешенными, а также значительная ширина канала водотока по отношению к его глубине, при которых гидравлический радиус канала ( $R_h$ ),

	Западная часть (Сорочьи горы – Камские поляны)		Восточная часть (Елабуга – Красный Бор)	
	(P <sub>3</sub> kz <sub>1</sub> )	(P <sub>3</sub> kz <sub>2</sub> )	(P <sub>3</sub> kz <sub>1</sub> )	(P <sub>3</sub> kz <sub>2</sub> )
Средний размер, мм	0.11	0.08	0.14	0.10
Стандартное отклонение σ, мм	0.68	0.49	0.90	0.56
Асимметрия (As)	1.46	1.46	0.28	0.73
Эксцесс (Ex)	1.25	2.62	0.51	0.38
Коэффициент вариации (Cv)	6.2	6.1	6.4	5.6
Энтропия распределения (Hr)	0.68	0.62	0.61	0.67
Количество образцов	7	6	10	7

Табл. 1. Гранулометрические характеристики терригенных отложений палеобассейна казанского яруса

равный отношению площади поперечного сечения к длине «мокрого периметра» (ширина плюс удвоенная глубина), приблизительно равен глубине канала. Эти особенности расчетного метода Эйнштейна позволяют предположить, что погрешность его применения в условиях придонных течений мелководного морского бассейна, сложенного песчаным материалом, будет минимальной.

Удельный суммарный расход наносов на единицу ширины потока  $q_t$  может быть рассчитан по методу Эйнштейна как суммарный расход донных  $q_b$  и взвешенных  $q_s$  наносов, что можно выразить уравнением:

$$q_t = q_b + \int_0^h C v_x dz, \tag{1}$$

где  $h$  – глубина потока;  $C$  – концентрация взвешенных наносов;  $v_x$  – горизонтальная составляющая скорости в направлении потока ( $x$ );  $z$  – вертикальная координата.

Опуская сложные математические преобразования, изложенные в монографии «Эрозия и седиментация» (Julien, 1995), получаем уравнение:

$$q_t = q_b [1 + I_1 \ln(30h/d_s) + I_2], \tag{2}$$

где  $d_s$  – средний размер взвешенных наносов, а два интеграла  $I_1$  и  $I_2$  имеют численное решение либо рассчитываются с использованием разработанных Эйнштейном номограмм.

Предлагаемая Эйнштейном функция для расчета емкости потока наносов учитывает соотношение различных гранулометрических классов осадка в потоках различной интенсивности. Основываясь на этом, выражение (1) может быть представлено как:

$$q_t = \sum i_i q_{i_i}, \tag{3}$$

где  $i_i$  – содержание в осадке  $i$ -того гранулометрического класса;  $q_{i_i}$  – удельный расход  $i$ -того гранулометрического класса.

Первым шагом при применении метода является получение необходимой информации о донных осадках палеобассейна. Отдельно были исследованы отложения нижнее- и верхнеказанского подъяруса. Результаты гранулометрического анализа по 19-ти классам крупности в диапазоне размерностей от  $>2$  мм до  $<0.01$  мм (всего было проанализировано 30 образцов) были осреднены и сгруппированы для последующей обработки в три гранулометрических класса, каждый из которых представляет не менее 19 % от общего объема материала (0.45-0.22, 0.22-0.11, 0.11-0.055 мм), а также рассчитаны другие необходимые показатели (средний размер частиц в классе, скорость осаждения частиц этого размера и процентилю  $d_{16}, d_{35}, d_{50}, d_{65}, d_{84}$  (Табл. 2).

Гидравлическая крупность  $w$  в таблице 2 рассчитана по формуле:

$$w = (4(G-1)gd_s/3C_D)^{0.5}, \tag{4}$$

где  $G$  – удельный вес частиц;  $g$  – ускорение свободного падения;  $d_s$  – диаметр частиц,  $C_D$  – коэффициент торможения (drag coefficient), связанный с числом Рейнольдса для шаровидных частиц ( $Re_p$ )  $C_D = 24/Re_p$  (Julien, 1995).

Расчет делается отдельно для каждого выделенного гранулометрического класса, полученные результаты суммируются.

Подробное описание метода Эйнштейна при практических расчетах приведено в работе (Julien, 1995). Результаты аналогичного расчета позволили определить значения удельной емкости палеопотока наносов для кембро-ордовикских песчаников северо-запада Русской плиты (Ленинградская обл.) (Берто и др., 2011).

### Расчет продолжительности седиментации исследуемой толщи

Одного параметра удельной емкости потока наносов недостаточно для расчета продолжительности седиментации исследуемой толщи, поскольку этот параметр применим в чистом виде только в случае однонаправленного и стабильного во времени потока наносов. В реальных условиях параметры потоков во времени и пространстве не являются неизменными. Анализ кослоистых текстур позволяет количественно оценить эффективность потока наносов, выражаемую коэффициентом  $C_f$ . Для симметричной попеременной миграции  $C_f = 0$ , для однонаправленного потока  $C_f = 1$  (Берто и др., 2011). Рассчитанные для казанских отложений коэффициенты эффективности потока приведены в таблице 3 и использованы для оценки результирующей эффективности потока.

Детальный анализ эрозийных поверхностей показывает, что в пределах исследованной толщи присутствуют два типа эрозийных границ. Внутри выделенных подъярусов эрозийные межслоевые поверхности прерывистые,

Размер зерен, мм		Гранулометрический состав по возрастным подразделениям, %				Гидравлическая крупность (скорость падения в воде) $w$ , мм/с
фракции	средний ( $d_s$ )	$P_{2kz_1w}$	$P_{2kz_1e}$	$P_{2kz_2w}$	$P_{2kz_2e}$	
>0.4		0.03	0	0.01	0.15	
0.4-0.1	0.25	47.29	31.21	49.02	37.96	31
0.1-0.01	0.05	37.60	34.07	31.56	33.36	2.7
0.01-0.001	0.01	15.07	34.71	19.4	28.33	0.17
<0.001		0.01	0.01	0.02	0.2	
Процентиль	$d_{16}$	0.010	0.004	0.008	0.005	
	$d_{35}$	0.090	0.010	0.070	0.010	
	$d_{50}$	0.100	0.050	0.100	0.080	
	$d_{65}$	0.110	0.090	0.110	0.120	
	$d_{84}$	0.140	0.160	0.150	0.180	
$I_b^*$		0.00017	0.00010	0.00020	0.00010	

Табл. 2. Гранулометрические характеристики отложений Западно-Казанского бассейна казанского яруса для расчета параметров потока наносов по методу Эйнштейна (Julien, 1995). Примечание.  $P_{2kz_1w}$ ,  $P_{2kz_1e}$ ,  $P_{2kz_2w}$ ,  $P_{2kz_2e}$  – среднепермский (званделупский) отдел, казанский ярус, нижний и верхний подъярус, восточная (e) и западная (w) части палеобассейна. Процентили  $d_{16}$ ,  $d_{35}$ , и т.д. обозначают размер частиц (мм), по отношению к которому 16, 35 и т.д. процентов частиц имеют меньший размер.  $I_b^*$  (inclination of the bottom) – уклоны дна осадочного бассейна

невыдержанные по простиранью. Такие текстуры обусловлены турбулентным характером и локальной пульсацией скоростей потоков (Берто, 2002) и не оказывают существенного влияния на общую мощность толщи. Эрозионная граница между нижне- и верхнеказанскими отложениями носит устойчивый характер и прослеживается на большей части исследованной территории, что указывает на площадной региональный характер перерыва осадконакопления.

Принимая во внимание особенности эрозионных контактов можно сделать вывод, что площадная эрозия существенно преобладала над глубинной. В этих условиях достоверно определить уровень эрозионного среза исследуемых толщ не всегда возможно, поэтому для наиболее корректной оценки первоначального объема мы принимаем в расчет максимальную выявленную мощность толщи ( $H_{max}$ ), сознавая, что первоначальная мощность отложений и, соответственно, объем толщи мог быть больше.

Используя рассчитанное значение удельной емкости потока наносов ( $q_t$ ), коэффициент эффективности потока ( $C_f$ ), протяженность данной толщи в направлении потока ( $L$ ), которая на доступном для изучения участке составляет около 100 км для западной зоны и 120 км для восточной, и максимальную выявленную мощность исследуемой толщи ( $H_{max}$ ), время осадконакопления терригенной толщи казанских отложений исследованного палеобассейна ( $t_s$ ) можно рассчитать по формуле:

$$t_s = (H_{max} L) / (q_t C_f), K \quad (5)$$

Результаты расчета представлены в таблице 3.

Относительная ошибка входящих в расчет параметров может быть весьма велика, в ряде случаев точно оценить величину относительной ошибки первоначальных параметров крайне сложно, в результате чего мы можем достаточно уверенно говорить только о порядке определяемой величины. При этом надо учитывать, что полученная величина отражает только чистое время седиментации имеющейся терригенной части разреза без учета региональной эрозии и хемо-биогенных слоев.

### Соотношение седиментологических и стратиграфических данных

Таким образом, мы наблюдаем ситуацию, когда продолжительность седиментации существенно отличается от длительности стратиграфического интервала времени, соотносимого с исследуемой толщей, который по разным оценкам варьирует от 2.6 до 3.5 млн лет.

Для оценки времени перерывов осадконакопления (перемывов осадков) используем следующую формулу (Романовский, 1977):

$$V = kH / (T - T^*) p, \quad (6)$$

где  $V$  – скорость осадконакопления,  $k$  – коэффициент, учитывающий сокращение мощностей первоначально образующихся слоев (поправка на уплотнение),  $H$  – максимальная мощность отложений в пределах выделенного стратиграфического подразделения,  $T$  – продолжительность этого подразделения (млн. лет),  $T^*$  – суммарное время перерывов в осадконакоплении,  $p$  – мера, учитывающая интенсивность межслоевых размывов в процессе

Исследуемая толща		$q_t$ м <sup>2</sup> /сут	$C_f$	$L$ км	$H_{max}$ м	$TR$	$t_s$ лет
Западная зона	P <sub>2</sub> kz <sub>1</sub>	3.9	0.5	100	24	0.4	2810
	P <sub>2</sub> kz <sub>2</sub>	4.4	0.5	100	20	0.2	2989
Продолжительность седиментации для западной зоны							5799
Восточная зона	P <sub>2</sub> kz <sub>1</sub>	5.1	0.67	120	26	1.0	1539
	P <sub>2</sub> kz <sub>2</sub>	2.6	0.67	120	22	0.9	6039
Продолжительность седиментации для восточной зоны							7579

Табл. 3. Параметры формирования казанского палеобассейна с использованием метода Эйнштейна (1950) и модели «заполнения резервуара» Жульена (1995). Примечание.  $q_t$  – удельная емкость потока (расход наносов) на единицу ширины потока (расчет по методу Эйнштейна);  $C_f$  – коэффициент эффективности потока наносов;  $L$  – достоверно установленная протяженность исследуемой толщи в пределах региона работ;  $H_{max}$  – максимальная мощность толщи;  $TR$  – терригенная составляющая разреза;  $t_s$  – расчетное время седиментации по формуле (5)

формирования толщи. Тогда время перерывов можно оценить по формуле:

$$T^* = T - kH/Vp \quad (7)$$

Скорость осадконакопления  $V$  рассчитываем как  $q_t / L$ . Подставляя в формулу (7) значения  $T = 3$  млн лет,  $V = 0,01$  м/год,  $k = 1.2$  (среднее значение уплотнения песков принимаем за 20%),  $p$  считаем единицей (внутри слоевые размывы носят локальный характер), замеренная мощность отложений казанского яруса в восточной (терригенной) части бассейна равна 48 м. Из этого получаем, что время, соответствующее перерывам, для толщи казанских отложений составляет:

$$T^* = 3 \cdot 10^6 \text{ лет} - 1.2 \cdot 48 \text{ м} / 0.01 \text{ м/год} = 2995080 \text{ лет}$$

Таким образом, рассчитанное реальное время формирования (продолжительность седиментации) соответствует приблизительно 0.16% от возрастного стратиграфического интервала данной толщи. Надо сказать, что полученная с использованием методики Эйнштейна оценка времени седиментации носит консервативный характер. Если исходить из седиментационных характеристик осадков, то получаемое время их формирования оказывается предельно малым в геологических масштабах. В статье ЛЛ. Кулямина и Л.С. Смирнова (1973) на основании анализа приливно-отливных циклов указывается, что для кембро-ордовикских песчаников Прибалтики «чистое» время седиментации оценивается приблизительно в 170 палеосутках (133 для саблинских песчаников среднего-верхнего кембрия и 40 для пакерортских нижнего ордовика) «Полученные цифры шокируют», как пишут сами авторы (Кулямин, Смирнов, 1973, с. 699). Такие результаты они объясняют ничтожной сохранностью осадков в подобных разрезах по отношению к стратиграфическому объему времени.

Оценка времени осадконакопления аналогичных кембро-ордовикских песчаников Ленинградской области на основании седиментационного анализа показала, что «чистое время накопления нижнепалеозойских песков можно оценить в 100-200 лет. Парадокс заключается в том, что геологическое время формирования саблинской

толщи составляет 10–20 млн лет (Тугарова и др., 2001, с. 89). Авторы объясняют это многократным перемывом отложений в мелководных морских условиях с активной литодинамикой, где соседствуют и сменяют друг друга в зависимости от параметров штормов и течений процессы аккумуляции и размыва морского дна.

Время отложения верхнеюрских конгломератов Крыма также оказывается существенно меньшим, чем соотносимая с ними продолжительность стратиграфического интервала (Лаломов, 2007).

Подобная ситуация не является уникальной: как указывал С.В. Мейен «Из-за широкого развития скрытых перерывов... в условиях мелководья нередко документируется лишь ничтожная доля общего времени седиментации (0.01–0.001 %)» (Мейен, 1989, с. 24).

Поскольку зависимость эрозионных и транспортирующих параметров потока от его скорости носит степенной характер, то в условиях интенсивных гидродинамических процессов основной объем геологической работы (эрозия – перенос – отложение) осуществляется в период активизации и значительно превосходит работу, происходящую в условиях стабильности. Так, для аллювиальных водотоков практически вся эрозионная работа и подавляющая часть аккумулятивной происходит в период паводка и на его спаде (Чалов, 2008). Деформацию береговой линии в течение года в основном определяют 2–3 наиболее сильных шторма (Руководство..., 1975). Мощные гидродинамические события в палеобассейнах, связанные (предположительно) с мегацунами, обусловленными тектоническими процессами, могут играть определяющую роль в отложении нижней (морской) молассы, которая завершает полную седиментологическую эволюцию глубоководных океанических желобов (Лаломов, 2007). В условиях континентального склона при интенсивных динамических процессах, к каким относятся оползни или крупные мутьевые потоки, образование мощных толщ осадков на больших площадях может происходить с геологической точки зрения практически мгновенно.

Для всех этих объектов характерно резкое несоответствие стратиграфической продолжительности, приписываемой данному комплексу отложений, реальному времени седиментации. В строении этих комплексов наряду с элементами, образующимися в интенсивных (а иногда и катастрофических) условиях седиментации, которые представляют основную часть разреза, присутствуют (точнее, должны присутствовать) свидетельства продолжительных перерывов седиментации или эрозии значительной части отложенных осадков. Далеко навсегда эти признаки присутствуют в очевидной форме, причем это относится не только к терригенным отложениям. Как указывает С.И. Романовский «даже в монотонной толще известняков присутствуют скрытые перерывы (диастремы), на которые ... приходится значительная часть времени, ответственного за формирование разреза. Однако, не имея возможности дать хотя бы приблизительные оценки времени перерывов седиментации, геологи вынуждены закрывать на них глаза. ... В океанах значительная часть времени падает на перерывы в седиментации. ... Эрозия не может рассматриваться здесь в качестве главной причины неполноты разрезов, хотя и другие причины точно назвать невозможно. Морские геологи придумали удачный обход

этой сложной проблемы, назвав время перерывов периодом неотложения осадков. Таким образом, геологическая летопись ... фиксирует короткие интервалы активности, разделенные значительно более длинными интервалами бездействия» (Романовский, 1988 б, с. 22–23).

Соотношение таких понятий как «скорость седиментации», «скорость накопления осадков» и «скорость приращения разреза» обсуждается в настоящее время в геологической литературе достаточно широко (Романовский, 1988 б; Литогеодинимика ..., 1998; Байков, Седлецкий, 2001 и др.), и это вызвано не только чисто научным интересом. Для очень многих полезных ископаемых осадочного генезиса оптимальное соотношение скоростей седиментации и наращивания разреза являются определяющим фактором их формирования. Скорость осадконакопления оказывает непосредственное влияние на процесс образования полезных ископаемых на стадии седиментации. Это проявляется в процессе формирования россыпей (Лаломов и др., 2015), хемобиогенных осадков, месторождений горючих полезных ископаемых и углеводородов (Ситдикова, Изотов, 2002). Поэтому знание реальной скорости отложения осадков важно как для литологии и седиментологии, так и при исследовании процессов образования осадочных полезных ископаемых.

## Заключение

Таким образом, использование литодинамических инженерно-геологических расчетов для оценки продолжительности седиментации терригенных отложений казанского яруса камского региона показало, что с они были образованы за очень короткий с геологической точки зрения срок. Седиментационное время образования толщи составляет не более 0.16% от ее стратиграфического возрастного интервала. Это особенно важно для реконструкции седиментационных условий восточной существенно терригенной части палеобассейна.

Условия, при которых седиментационное время существенно отличается от стратиграфического, характерны для целого ряда осадочных формаций. Поэтому традиционный метод расчета скорости накопления осадков делением мощности толщи на продолжительность соотносимого с ней интервала стратиграфической шкалы может дать заведомо заниженную оценку (Berthault, 2012).

Поскольку скорость осадконакопления непосредственно влияет на образование осадочных полезных ископаемых седиментогенной серии (россыпи и частично хемогенные руды), при изучении осадочного рудогенеза необходимо учитывать реальную скорость осадкообразования.

## Литература

- Байков А.А., Седлецкий В.И. О сверхвысоких скоростях терригенной седиментации на континентальном блоке в фанерозое. *Проблемы литологии, геохимии и осадочного рудогенеза*. М.: Наука. 2001. С. 93–108.
- Берто Г. Анализ основных принципов стратиграфии на основе экспериментальных данных. *Литология и полез. ископаемые*. 2002. № 5. С. 509–515.
- Берто Г., Векслер А.Б., Доненберг В.М., Лаломов А.В. Исследование размывающего воздействия высокоскоростного потока на монолитные образцы скальных и полускальных грунтов. *Известия ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева*. 2010. Т. 257. С. 10–22.
- Берто Г., Лаломов А.В., Тугарова М.А. Реконструкция палеолито-динамических условий формирования кембро-ордовикских песчаников

северо-запада Русской платформы. *Литология и полезные ископаемые*. 2011. № 1. С. 67-79.

Геологические памятники природы республики Татарстан. Казань: Акварель. 2007. 296 с.

Геология Татарстана: стратиграфия и тектоника. М.: Геос. 2003. 402 с.

Кулямин Л.Л., Смирнов Л.С. Приливно-отливные циклы осадконакопления в кембро-ордовикских песках Прибалтики. *Докл. АН СССР. Сер. геол.* 1973. Т. 212. № 1-3. С. 696-699.

Лаломов А.В. Реконструкция палеогидродинамических условий образования верхнеюрских конгломератов Крымского полуострова. *Литология и полез. ископаемые*. 2007. № 3. С. 298-311.

Лаломов А. В., Платонов М.В., Тугарова М.А., Бочнева А.А., Чефранова А.В. Редкометалльно-титановая россыпная металлоносность кембро-ордовикских песчаников северо-запада Русской плиты. *Литология и полез. ископаемые*. 2015. № 6. С. 563-575. DOI: 10.7868/S0024497X15060063.

Лебедев В.В. Гидрология и гидравлика в мостовом дорожном строительстве. Л.: Гидрометеиздат. 1959. 384 с.

Литодинамика и минерализация осадочных бассейнов. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ. 1998. 480 с.

Мейен С. В. Введение в теорию стратиграфии. М.: Наука, 1989. 212 с.

Романовский С.И. К вопросу об истории открытия и авторстве основного фациального закона. ВИАТ. 1988а. №4. С. 87-94.

Романовский С.И. Физическая седиментология. Л.: Недра. 1988 б. 240 с.

Руководство по методам исследования и расчета перемещения наносов и динамике берегов при инженерных изысканиях. М.: Гидрометеиздат. 1975. 239 с.

Ситдикова Л.М., Изотов В.Г. Геодинамические условия формирования деструкционных резервуаров углеводородов глубоких горизонтов земной коры. *Георесурсы*. 2002. № 4. С. 17-22.

Тугарова М.А., Платонов М.В., Сергеева Э.И. Литодинамическая характеристика терригенной седиментации кембро-нижеордовикской толщи Ленинградской области. *Историческая геология и эволюционная география*. СПб.: Изд-во НОУ Амадеус. 2001. С. 81-91.

Чалов Р.С. Русловедение: теория, география, практика. М.: Издательство ЛКИ. 2008. 608 с.

Berthault G., Izotov V.G., Sitdikova L.M., Lalomov A.V., Akhmetshakirov M.M. Analytical expression of Golovkinskii law with reference to research of Permian strata of Volga – Ural region. *33-rd International Geological Congress. Abstracts*. Oslo, Norway. 2008. SES – 01.

Berthault, G. Towards a Refoundation of Historical Geology. *Georesources*. (1) 2012. Pp. 38-39.

Einstein H.A. The bed load function for sediment transport in open channel flow. *Technical bulletin no 1026*. Washington, D.C.: U.S. Department of Agriculture, Soil Conservation Service. 1950. Pp. 1-78.

Hjulstrom F. The Morphological activity of rivers as illustrated by river Fyris. *Bulletin of the Geological Institute*. Uppsala. 1935. No. 25. Pp. 89-122.

Julien P. Erosion and sedimentation. Cambridge: Cambridge University Press. 1995. 280 p.

Middleton G.V. Johannes Walter's law of the correlation of facies. *Geol. Soc. Amer. Bull.* 1973. V.84. Pp. 979-988.

Rubin, D.M., McCulloch, D.S. Single and Superposed Bed Forms: A Synthesis of San Francisco Bay and Flume Observations. *J. Sediment. Petrol.* 1980. No. 26. Pp. 207-231.

Southard J., Boguchwal J.A. Bed configuration in steady unidirectional waterflows, part 2, Synthesis of flume data. *Journ. Sediment. Petrol.* 1990. No. 60 (5). Pp. 658-679.

## Сведения об авторах

*Александр Валерианович Лаломов* – д. геол.-мин. н., ведущий научный сотрудник

Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии (ИГЕМ РАН)

Россия, 119017, Москва, Старомонетный 35

Тел: +7 499 2308427, e-mail: lalomov@mail.ru

*Ги Бертто* (Guy Berthault) – выпускник Французской политехнической школы (École Polytechnique), член Геологического общества Франции, Frenche Politechnics School ingeneer

Франция, Париж, Route de Saclay, 91128 Palaiseau

*Виктор Геннадиевич Изотов* – канд. геол.-мин. н., доцент кафедры региональной геологии и полезных ископаемых, Казанский (Приволжский) федеральный университет

Россия, 420111, Казань ул. Кремлевская, 4/5

*Ляля Мирсалиховна Ситдикова* – канд. геол.-мин. н., доцент кафедры региональной геологии и полезных ископаемых, Казанский (Приволжский) федеральный университет

Россия, 420111, Казань ул. Кремлевская, 4/5

*Марина Александровна Тугарова* – канд. геол.-мин. н., ведущий исследователь, ООО “Газпромнефть НТЦ”

Россия, 190000 Санкт-Петербург, наб. реки Мойки, д. 75-79, литер Д

Статья поступила в редакцию 21.03.2017;

Принята к публикации 23.04.2017; Опубликована 30.06.2017

## Reconstruction of paleohydraulic conditions of deposition of the Upper Permian strata of the Kama region

*A.V. Lalomov<sup>1\*</sup>, G. Berthault<sup>2</sup>, V.G. Izotov<sup>3</sup>, L.M. Sitdikova<sup>3</sup>, M.A. Tugarova<sup>4</sup>*

<sup>1</sup>Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry of Russian Academy of Science, Moscow, Russia

<sup>2</sup>Frenche Politechnics School ingeneer, Paris, France

<sup>3</sup>Kazan Federal University, Kazan, Russia

<sup>4</sup>Gazpromneft NTC, St. Petersburg, Russia

\*Corresponding author: Alexandr V. Lalomov, e-mail: lalomov@mail.ru

**Abstract.** Paleohydraulic sedimentary conditions of the Upper Permian basin the East European platform region were reconstructed based on the data of grain size and structural analyses of the strata. Calculation of the paleolithodynamic parameters indicated that real duration of the sedimentation of the strata was much less than corresponding interval on the stratigraphic time-scale. Similar ratios are typical for other sedimentary formations in both platform and folded geological areas that correspond to an injective type of sedimentogenesis. This regularity should be taken into account in

the interpretation of the stratigraphic chart and forecasting of sedimentary mineral deposits (hydrocarbon, in the first place).

**Key words:** paleohydrodynamics, reconstruction, velocity of sedimentation, stratigraphic chart, mineral deposits

**For citation:** Lalomov A.V., Berto G., Izotov V.G., Sitdikova L.M., Tugarova M.A. Reconstruction of paleohydraulic conditions of deposition of the Upper Permian strata of the Kama region. *Georesursy = Georesources*. 2017. V. 19. No. 2. Pp. 103-110. DOI: <http://doi.org/10.18599/grs.19.2.3>

## References

- Baikov A.A. and Sedletskii V.I., Superhigh Rates of Terrigenous Sedimentation on the Continental Block in the Phanerozoic. *Problemy litologii, geokhimii i osadochnogo rudogenez* [Problems of Lithology, Geochemistry, and Sedimentary Ore Genesis]. Moscow: Nauka. 2001. Pp. 93-108. (In Russ.)
- Berthault, G. Analysis of the main principles of stratigraphy on the basis of experimental data. *Lithology and Mineral Resources*. 2002. Vol.37. No.5. Pp. 442-446. (In Russ.)
- Berthault G., Veksler A.L., Donenberg V.M. and Lalomov A. Research on Erosion of Consolidated and Semi-Consolidated Soils by High Speed Water Flow. *Izvestia VMG*. 2010. Vol. 257. Pp. 10-22. (In Russ.)
- Berthault G., Lalomov A.V., Tugarova M.A. Reconstruction of Paleolithodynamic Formation Conditions of Cambrian-Ordovician Sandstones in the Northwestern Russian Platform. *Lithology and Mineral Resources*. 2011. Vol. 46. No. 1. Pp. 60-70. (In Russ.)
- Berthault, G. Towards a Refoundation of Historical Geology. *Georesursy*. 2012. No.1. Pp. 38-39.
- Chalov R.S., Ruslovedenie: teoriya, geografiya, praktika [Study of Channels: Theory, Geography, and Practice]. Moscow: LKI. 2008. (In Russ.)
- Einstein H.A. The bed load function for sediment transport in open channel flow. *Technical bulletin no 1026*. Washington, D.C.: U.S. Department of Agriculture, Soil Conservation Service. 1950. Pp. 1-78.
- Geological heritage of Tatarstan Republic. Kazan: Akvarel. 2007. 296 p. (In Russ.)
- Geology of Tatarstan: stratigraphy and tectonics. Moscow, Geos. 2003. 402 p. (In Russ.)
- Hjulstrom F. The Morphological activity of rivers as illustrated by river Fyris. *Bulletin of the Geological Institute*. Uppsala. 1935. No. 25. Pp. 89-122.
- Julien P. Erosion and sedimentation. Cambridge: Cambridge University Press. 1995. 280 p.
- Kulyamin, L.L. and Smirnov, L.S., Intertidal Cycles of Sedimentation in Cambrian-Ordovician Sands of the Baltic Region. *Dokl. Akad. Nauk SSSR, Ser. Geol*. 1973. Vol. 212. No. 13. Pp. 696-699. (In Russ.)
- Lalomov A.V. Reconstruction of paleohydrodynamic conditions during the formation of Upper Jurassic conglomerates of the Crimean Peninsula. *Lithology and Mineral Resources*. 2007. Vol.42. No. 3. Pp. 268-280. DOI: 10.1134/S0024490207030066
- Lalomov A.V., Platonov M.V., Tugarova M.A., Bochneva A.A., Chefranova A. V. Rare metal-titanium placer metal potential of Cambrian-Ordovician sandstones in the northwestern Russian plate. *Lithology and Mineral Resources*. 2015, Vol. 50, No. 6, Pp. 501-511. DOI: 10.1134/S0024490215060061
- Lebedev V.V., Gidrologiya i gidravlika v mostovom dorozhnom stroitel'stve [Hydrology and Hydraulics in Bridge and Road Building]. Leningrad: Gidrometeoizdat. 1959. (In Russ.)
- Litogeodinamika i minerageniya osadochnykh basseinov [Lithogeodynamics and Minerageny of Sedimentary Basins]. St. Petersburg: VSEGEI. 1998. 480 p. (In Russ.)
- Meyen, S.V. Introduction to the theory of stratigraphy. Moscow, Nauka, 1989. (In Russ.)
- Middleton G.V. Johannes Walter's law of the correlation of facies. *Geol. Soc. Amer. Bull*. 1973. V.84. Pp. 979-988.
- Romanovsky S.I., Sedimentologicheskie osnovy Litologii, (Sedimentological Principles of Lithology). Leningrad: Nedra. 1977. 408 p. (In Russ.)
- Romanovsky S.I. History of discovery and authorship of main facial law. VIET. 1988a. n.4. Pp. 87-94. (in Russ.)
- Romanovsky S.I. Fizicheskaya sedimentologiya [Physical Sedimentology]. Leningrad: Nedra. 1988b. (In Russ.)
- Rubin, D.M., McCulloch, D.S. Single and Superposed Bed Forms: A Synthesis of San Francisco Bay and Flume Observations. *J. Sediment. Petrol*. 1980. No. 26. Pp. 207-231.
- Rukovodstvo po metodam issledovaniya i rascheta peremeshcheniya nanosov i dinamike beregov pri inzhenernykh izyskaniyakh (Manual for the Study and Calculation of Dislocations of Debris and Dynamics of Coasts during Engineering Surveys). Moscow: Gidrometeoizdat. 1975. P. 239. (In Russ.)
- Sitdikova L.M., Izotov V.G. Geodynamic conditions of forming of deep Earth crust level destructive hydrocarbon reservoirs. *Georesursy=Georesources*. 2002. Is.4. Pp. 17-22. (In Russ.)
- Southard J., Boguchwal J.A. Bed configuration in steady unidirectional waterflows, part 2, Synthesis of flume data. *Journ. Sediment. Petrol*. 1990. No. 60 (5). Pp. 658-679.
- Tugarova, M.A., Platonov, M.V., Sergeeva, E.I., Lithodynamic Characteristics of Terrigenous Sedimentation of the Cambrian-Lower Ordovician Sequence in the Leningrad District. *Istoricheskaya geologiya i evolyutsionnaya geografiya* [Historical Geology and Evolutionary Geography]. St. Petersburg: NOU Amadeus. 2001. Pp. 81-91.

## About the Authors

*Alexander V. Lalomov* – DSc in Geology and Mineralogy, Leading Researcher, Institute of Geology of Ore Deposits, Mineralogy, Petrography and Geochemistry of Russian Academy of Science (IGEM RAS)  
Russia, 119017, Moscow, Staromonetny per. 35  
Phone: +7 499 2308427  
e-mail: lalomov@mail.ru

*Guy Berthault* – French Polytechnic School engineer, Member of the French Society of Geology  
France, Paris, Route de Saclay, 91128 Palaiseau

*Victor G. Izotov* – PhD in Geology and Mineralogy, Associate Professor, Department of Regional geology and minerals deposits, Kazan Federal University  
Russia, 420111, Kazan, Kremlevskaya St., 4/5

*Lyalya M. Sitdikova* – PhD in Geology and Mineralogy, Associate Professor, Department of Regional geology and minerals deposits, Kazan Federal University  
Russia, 420111, Kazan, Kremlevskaya St., 4/5

*Marina A. Tugarova* – PhD in Geology and Mineralogy, Leading Researcher, Gazpromneft NTC  
Russia, 190000, St. Petersburg, Moika River emb., 75-79  
liter D

Manuscript received 21 March 2017; Accepted 23 April 2017;  
Published 30 June 2017