

DOI: https://doi.org/10.17353/2070-5379/34_2019

УДК 552.578.061.4:551.763.12(571.121)

Мезенцева А.В., Байков Р.П., Зверев К.В.

ООО «Научно-Технический Центр «Газпром нефти» (ООО «Газпромнефть НТЦ»), Санкт-Петербург, Россия, Mezentseva.AV@gazpromneft-ntc.ru

Соловьев В.В., Буткеев А.С., Улыбина И.В.

Акционерное общество «Арктическая газовая компания» (АО «АРКТИКГАЗ»), Новый Уренгой, Россия

ТИПИЗАЦИЯ КОНУСОВ ВЫНОСА В АЧИМОВСКИХ ОТЛОЖЕНИЯХ УРЕНГОЙСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Применение классификации подводных конусов выноса Г. Рединга и М. Ричардса и комплексного анализа геолого-геофизической информации Уренгойского месторождения позволило выявить генетические отличающиеся конусы выноса в пределах одного пласта (на расстоянии менее 21 км). Конусы выноса отличаются по морфологическим характеристикам, величине фильтрационно-емкостных параметров (коэффициент пористости, проницаемости) и характеру распределения эффективных толщин в пространстве. Типизация подводных конусов выноса при оценке углеводородного потенциала слабоизученных геологических объектов позволит корректно подбирать их аналоги.

Ключевые слова: классификация подводных конусов выноса, типизация подводных конусов выноса, ачимовские отложения, Уренгойское месторождение.

Введение

Классический подход к созданию геологической модели предполагает последовательный анализ геолого-геофизической информации: интерпретации результатов геофизических исследований скважин (ГИС) и данных сейсморазведочных работ, кернового материала и т.д. Такая последовательность позволяет системно подойти к созданию геологического концепта, но требует значительного времени и достаточного количества качественных данных. При современных ускоренных сроках оценки и запуска нефтегазовых проектов в совокупности с недостатком входных данных создается потребность привлечения физических характеристик резервуара более изученных пластов аналогов. В случае отсутствия или малого количества скважинной информации по анализируемому геологическому объекту (необходимой статистики по величине фильтрационно-емкостных параметров) для поиска аналога, как правило, используют сходство условий осадконакопления. В статье на примере ачимовских пластов Уренгойского месторождения Самбургского лицензионного участка показаны геологические отличия разных типов глубоководных конусов выноса в пределах одного пласта и принципы их идентификации в сейсмических образах.

Классификация подводных конусов выноса

Образование конусов выноса связывают с поступлением к подножиям подводного

склона песчано-алевритовых осадков в виде гравитационных потоков различной плотности и реологических свойств [Нежданов и др., 2000; Zavala, Mariano, 2016]. Эти процессы генетически и пространственно связаны с областями разгрузки осадков, транспортируемых аллювиально-дельтовыми системами к окраинам шельфовых террас [Нежданов и др., 2000; Zavala, Mariano, 2016; Mutti, Normark, 1987]. Особенности геологического строения глубоководных конусов выноса обусловлены различными факторами [Reading, Richards, 1994; Prelat et al., 2010; Deptugk, 2008, Нежданов и др., 2000]: колебаниями уровня моря, тектоникой, типом источника питания (объем и гранулометрический состав осадков), скоростью и механизмом транспортировки осадков, частотой авульсий распределительных каналов, конфигурацией палеорельефа. Сочетание этих факторов приводит к разнообразию геометрических форм подводных конусов выноса и их комплексов, что нашло отражение в многочисленных классификациях турбидитных отложений, предлагаемых многими исследователями ([Mutti, Ricci, 1981; Mutti, Normark, 1987; Reading, Richards, 1994; Prelat et al., 2010] и др.).

В данной работе за основу взята классификация подводных конусов выноса Г. Рединга и М. Ричардса [Reading, Richards, 1994], которая базируется на двух характеристиках: 1) размере осадочных частиц (глинистые, песчано-глинистые, песчаные, гравелитовые) и 2) количестве источников питания турбидитных систем (точечный, многоточечный и линейный источники). Оба критерия обусловлены условиями осадконакопления на прилегающем шельфе (разные типы дельт, сезонность, уровень моря, вдольбереговые течения и др.). На рис. 1 показаны схематизированные модели подводных конусов выноса этой классификационной схемы, за исключением грубообломочных типов.

Согласно концепции эффективности турбидитовых течений [Mutti, 1979; Mutti, Normark, 1987] потоки, обогащенные глинистой составляющей, способны переносить осадочный материал на более дальние расстояния. Такие турбидитовые потоки образуют крупные илистые подводные конусы выноса, характеризующиеся большими размерами, вытянутой в сторону бассейна формой и преимущественно извилистой морфологией турбидитовых каналов (глинистый тип конусов выноса, рис. 1). Песчаный материал в подводных конусах этого типа приурочен в основном к русловым фациям. Турбидитовые лопасти представлены частым переслаиванием тонко-мелкозернистых песчаников и алевро-глинистых пород.

С повышением доли песчаного материала в турбидитовом потоке, трение и соударение крупных частиц, в отсутствие необходимого количества илистой взвеси, приведет к быстрой потере потоком момента движения, в результате чего поток будет тормозиться быстрее и осаждаться в виде опесчаненной турбидитовой лопасти (песчано-глинистые, песчаные системы конусов, рис. 1) на более коротком расстоянии, чем в глинистых подводных русловых

системах. Последующие авульсионные смещения турбидитовых каналов будут формировать систему разгрузки в виде веерообразных конусов выноса: песчаники лопастей и каналов стыкуются в разрезе и по латерали, а степень их гидродинамической связи зависит от толщины и протяженности залегающих между ними пропластками глин, отлагавшихся в перерыве между потоками, и от степени эрозии этих глин песчаными потоками.

Второй критерий классификации отражает то, каким образом осадки шельфа поступают к подножью склона. Если осадки шельфа переносятся к подножью склона через один глубокий врез или каньон, то формируется точечный тип питания турбидитовых систем (Submargin fans) с образованием единого конуса выноса у подножия склона. Когда шельф обильно снабжается осадками (дельты, вдольбереговые течения), в особенности в периоды регрессии, возникает многоточечный тип питания (Ramp system) глубоководной равнины. В таком случае вдоль подножья склона накапливаются серии конусов выноса, которые потенциально могут быть гидродинамически изолированы друг от друга либо сообщаться в зависимости от одновременности образования, неоднородности, интенсивности эрозии осадков нижележащего конуса, анизотропии свойств в области перекрытия. Линейный тип (Slope apron) конусов на подводных склонах отличается от многоточечного источника питания тем, что имеет более обширную зону сноса осадков.

Важно понимать, что условия и процессы формирования турбидитных систем могут изменяться во времени в зависимости от интенсивности проявления внутренних (локальных) и внешних (региональных) контролирующих факторов и, как следствие, будут наблюдаться смешанные формы типов подводных систем. Классификация Г. Рединга и М. Ричардса не учитывает также палеоморфологию дна бассейна, которая может существенно влиять на конфигурацию и внутреннее строение песчаных тел.

Типы конусов выноса в пределах Уренгойского месторождения

На рис. 2 приведены результаты комплексной геолого-геофизической интерпретации геологического строения ачимовского пласта Ач5²⁻³ Уренгойского месторождения Самбургского лицензионного участка. Пример пласта Ач5²⁻³ показывает, что на одном стратиграфическом уровне в разных частях подножия одного и того же подводного склона могли развиваться совершенно разные генетические типы конусов (на расстоянии 21 км и менее друг от друга): 1) более песчанистые и 2) более глинистые (нумерация конуса условна, без привязки ко времени образования).

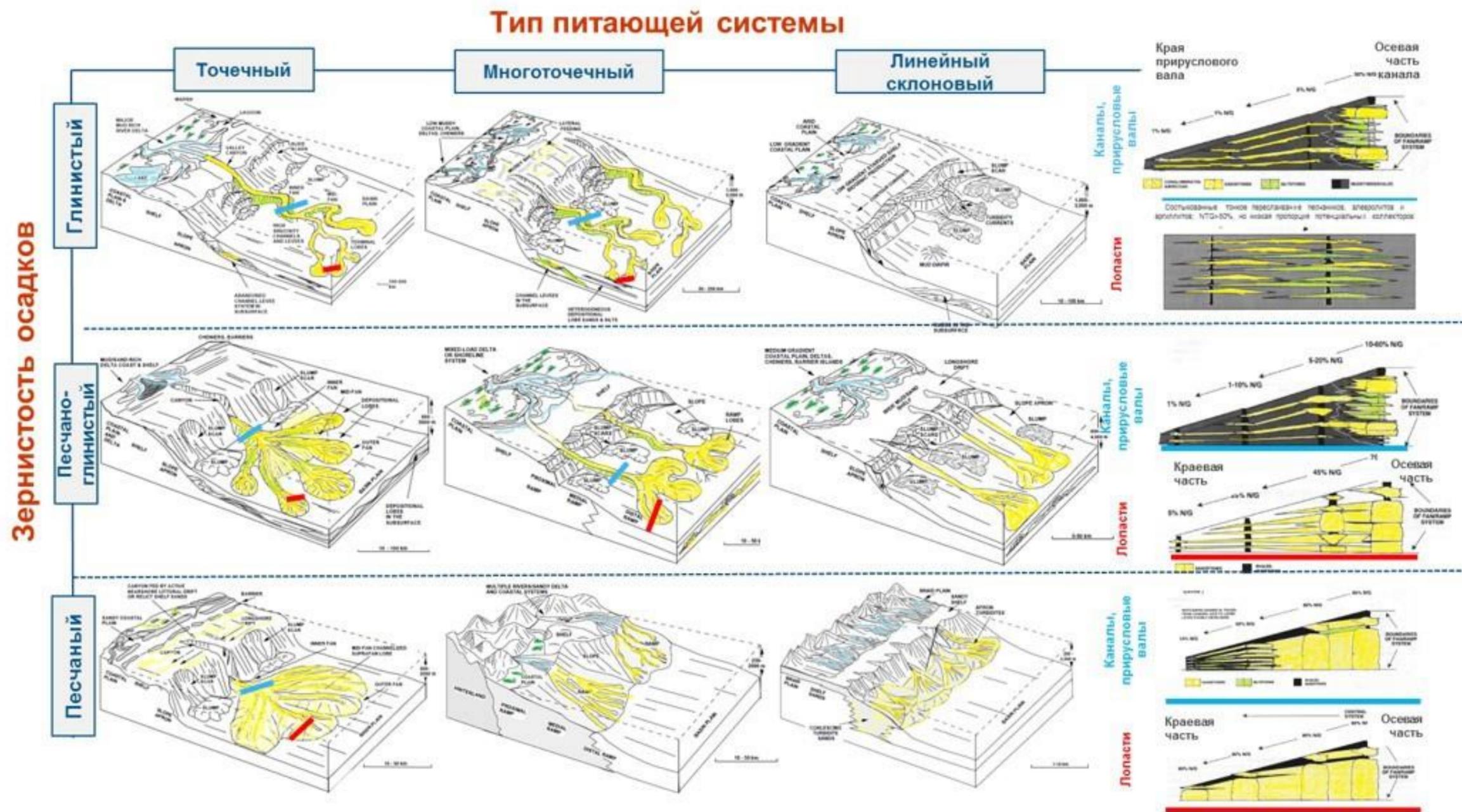


Рис. 1. Часть классификационной схемы глубоководных конусов выноса Г. Рединга и М. Ричардса (по [Reading, Richards, 1994])

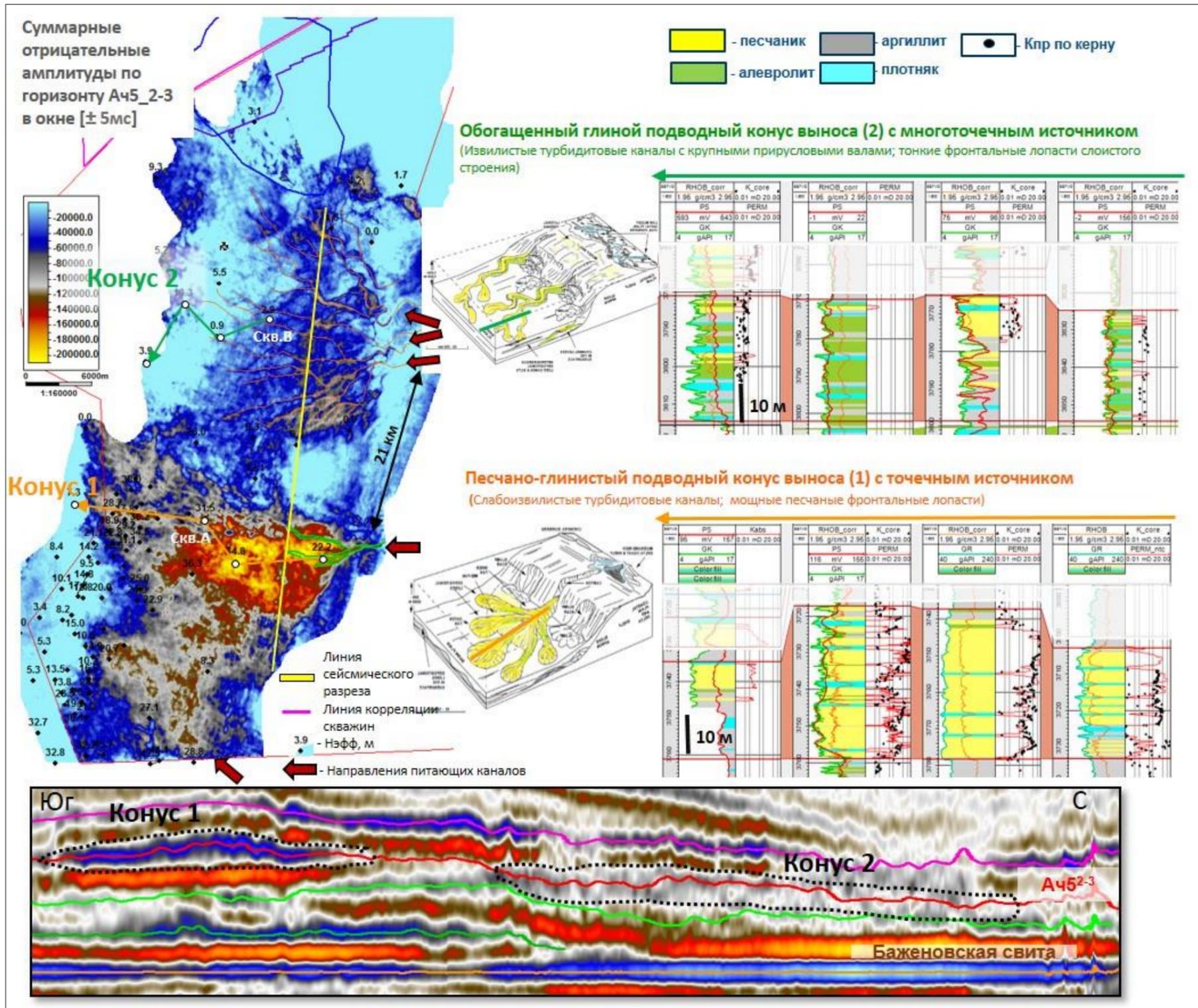


Рис. 2. Комплексная геолого-геофизическая интерпретация геологического строения пласта Ач5²⁻³ Уренгойского месторождения
 На сейсмическом разрезе (Юг-С) горизонт Ач5²⁻³ (красная линия) прослеживается по четкой отрицательной фазе на юге и слабовыраженной отрицательной в северной части. На карте суммарных отрицательных амплитуд выделяются два геоморфологически отличных конуса выноса. В совокупности со скважинными данными и классификацией конусов [Prelat et al., 2010] конус (1) отнесен к песчано-глинистому типу с точечным источником; конус (2) - к обогащенному глиной конусу выноса.

Тип источника питания и гранулометрический состав осадочной смеси, переносимой турбидитовыми потоками, определяли морфологию подводных конусов выноса. Так, в южном подводном конусе выноса (1) карта сейсмического атрибута позволяет диагностировать один источник питания (см. рис. 2), который формировал радиально-вытянутое тело с внутренней акустической неоднородностью и единичными аномалиями каналов в ближней части. По скважинам данным (ГИС) этот подводный конус выноса обладает более высокой песчаностью, эффективными толщинами и фильтрационно-емкостными свойствами, в сравнении с северным подводным конусом выноса (2) (табл. 1; рис. 3).

Таблица 1

Характеристика двух конусов выноса Уренгойского месторождения

	Ач5_2-3 Конус (1)	Ач5_2-3 Конус (2)
Тип конуса [Prelat et al., 2010]	песчано-глинистый	глинистый
Форма по сейсмике	лопастевидная/лопастная-вытянутая	вытянутая, со шнурковыми телами
Длина/Ширина конуса (по сейсмическому атрибуту), км	27/ 16	23,5/ 28
Общая толщина (мин-макс)	12-62	14-34
Средняя общая толщина, м	38	27
Эффективная толщина (мин-макс)	0-42,5	0-26
Средняя эффективная толщина, м	23,3	6,3
Средний коэффициент пористости, ед. д.	0,163	0,133
Средний коэффициент проницаемости, 10⁻³ мкм²	0,61	0,17

* - статистика по толщинам и ФЕС сделана по разведочным скважинным данным: 26 скважин - для конуса (1), 15 - для конуса (2).

В конусе (2), напротив, по сейсмическим атрибутам - картам RGB выделяются протяженные и порой извилистые шнурковые аномалии турбидитовых каналов. Образование таких каналов объясняется с точки зрения механизмов динамики турбулентного потока: чем больше в нем глинистых частиц, которые при движении находятся во взвешенном состоянии, тем больше высота вдольбереговых валов канала, что в свою очередь стабилизирует русло [Posamentier, Walker, 2006; Reading, Richards, 1994]. Несмотря на то, что проксимальная часть конуса (2) не вскрыта скважинами, сравнение интенсивности свечения отрицательной фазы на карте суммарных отрицательных амплитуд и сейсмическом разрезе позволяет говорить о меньших перспективах с точки зрения эффективных толщин конуса (2), по сравнению с южным подводным конусом выноса (1). Также сравнение 10-метровых интервалов керна скважин А и В подводных конусах выноса (1) и (2) (см. рис. 3, 2), находящихся на равном

удалении от подножья склона показывает, что в скв. А разрез более песчанистый, толщина и частота глинистых перемычек между песчаными циклами меньше, чем в конусе (2).

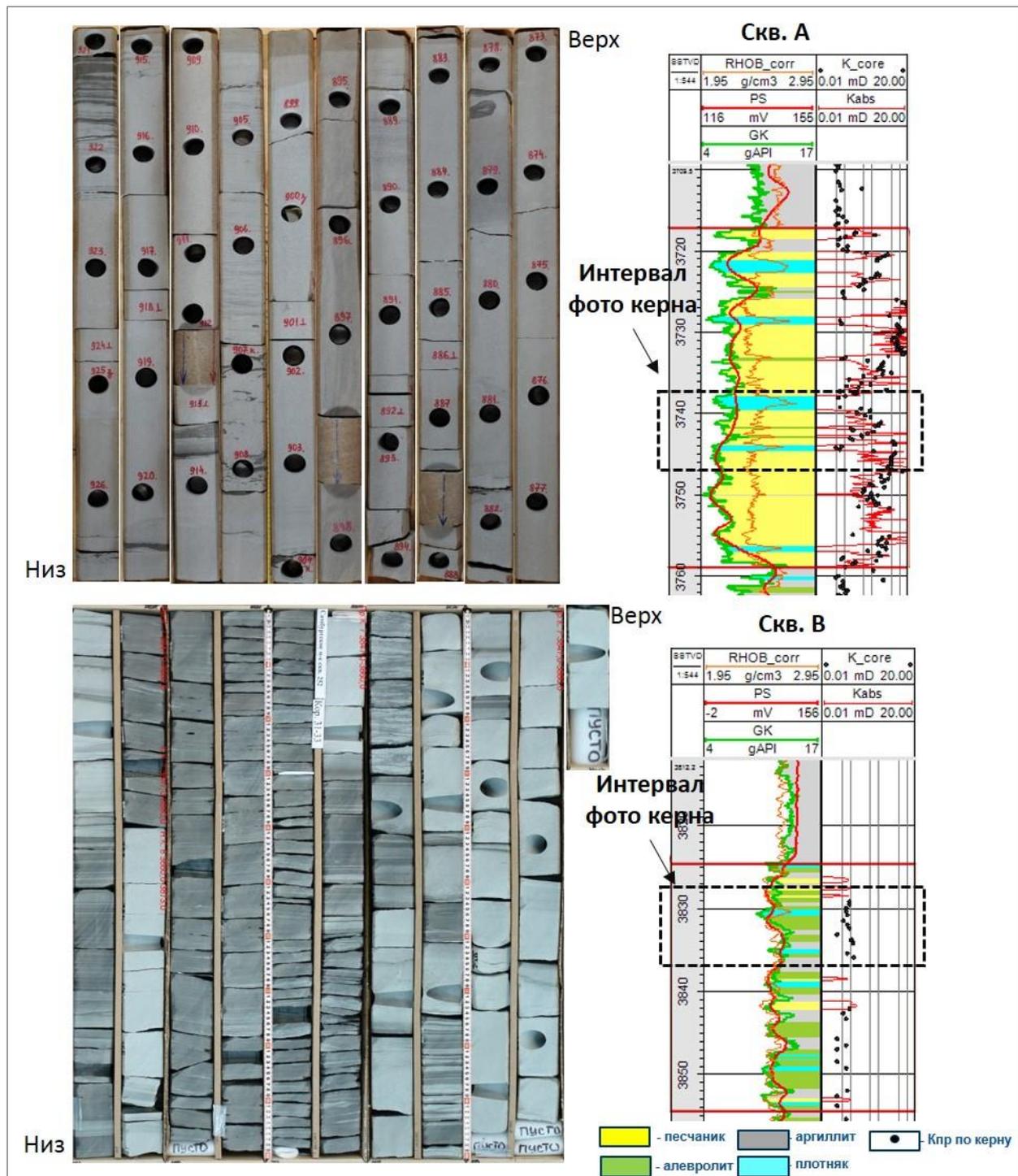


Рис. 3. Характеристика керна в скважинах разных типов конусов скв. А – конус (1), скв. В – конус (2).

Таким образом, эти факты позволяют отнести конус (1) к песчано-глинистому типу с точечным источником питания (по классификации Г. Рединга и М. Ричардса [Reading, Richards, 1994]) и повышенным содержанием песчаного материала в составе осадков,

транспортировавшихся турбидитовыми потоками, а конус (2) к глинистому типу с многоточечным источником питания и с повышенным содержанием илистого материала в составе осадков, переносимых турбидитовыми потоками (см. рис. 2).

Конус (1) сложен покровными песчаными телами, внутри которых присутствуют песчаники как каналов, так и лопастей, которые не разделяются по сейсмическим данным, а могут быть идентифицированы только по определенным литологическим особенностям в керне. В виду отсутствия скважинной информации на сегодняшний день нельзя достоверно утверждать, но можно предположить, что для конуса (2) в проксимальной части потенциальные коллекторы будут приурочены к песчаным шнурковым телам (каналам) и покровным, но маломощным песчаникам прирусловых валов с более низкими ФЕС в сравнении с конусом (1). С высокой долей вероятности песчаные тела подводного конуса (1) являются более гидродинамически связанными в сравнении с песчаниками конуса (2) в особенности в направлении перпендикулярном направлению движения потоков.

Наличие двух разных типов подводных конусов выноса, расположенных на незначительном расстоянии друг от друга, менее 21 км (см. рис. 2), в большей степени могут быть обусловлены локальными факторами, связанными с двумя типами источника питания. Палеошельфовая часть для пласта Ач5²⁻³ расположена восточнее изучаемой площади, но несмотря на отсутствие фактических материалов (данные ГИС, сейсморазведочных работ, 3D) можно сделать ряд предположений об условиях ее осадконакопления и связи с ее глубоководной фондоформенной частью. Образование отложений глинистого подводного конуса выноса с многоточечным источником питания (2) могло быть связано с проградацией дельты к краю шельфа в период высокого стояния уровня моря. Выход на бровку шельфа сразу нескольких распределительных каналов дельты приводит к развитию многоточечного источника питания подводного конуса выноса. Также не исключена гипотеза формирования конуса (2) за счет многократного оползания глинисто-песчанистых осадков кромки шельфа с образованием глинистого конуса выноса по классификации Г. Рединга и М. Ричардса [Reading, Richards, 1994]. Формирование песчаного-глинистого подводного конуса выноса (1) с точечным источником питания могло быть результатом, прямой речной разгрузки на подводный склон в период низкого стояния уровня моря. Таким образом, оба подводных конуса выноса, находящиеся на одном стратиграфическом уровне, могут являться не одновременными осадочными отложениями, образованными на разных стадиях колебаний уровня моря.

Приведенный пример показывает, что в отсутствии или недостаточности скважинных данных для более корректного выбора аналогичного геологического объекта, сложенного конусами выноса, необходимо учитывать не только схожесть условий осадконакопления и

стратиграфических данных, но также диагностировать по сейсмическим данным морфогенетический тип подводного конуса выноса.

Выводы

В пределах стратиграфически единого пласта могут формироваться конусы выноса, относящиеся к разным морфогенетическим типам и характеризующиеся отличными значениями Кп, Кпр, Нэфф (см. табл. 1) и гидродинамической сообщаемостью коллекторов внутри одного конуса.

При выборе пласта аналога для глубоководных конусов выноса помимо стратиграфической принадлежности рекомендуется сопоставлять морфологические характеристики в сейсмических атрибутах, скважинный разрез по ГИС и керну для повышения надежности при оценке углеводородного потенциала месторождений нефти и газа.

В дальнейшем планируется расширить классификацию различных типов конусов примерами других месторождений и связать полученные типы с параметрами разработки оценочного инструмента для конусов выноса определенного типа.

Литература

Нежданов А.А., Пономарев В.А., Туренков Н.А., Горбунов С.А. Геология и нефтегазоносность ачимовской толщи Западной Сибири. - М.: Академия горных наук, 2000. – 247 с.

Deptugk M.E., Piper D.J.W., Savoye B., Gervais A. Dimensions and architecture of late Pleistocene submarine lobes off the northern margin of East Corsica // *Sedimentology* 55. – 2008. – P. 869-898. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-3091.2007.00926.x>

Mutti E., Normark W.R. Comparing examples of modern and ancient turbidite systems: Problems and concepts, in J.K. Leggett and G.G. Zuffa (eds.), *Marine clastic sedimentology: Concepts and case studies* // *Graham & Trotman, London.* – 1987. – P. 1-38. DOI: https://doi.org/10.1007/978-94-009-3241-8_1

Mutti E. Turbidites et cones sous-marins profonds, in Peter Homewood (Ed.). *Sedimentation Detritique (Fluviatile, Littorale et Marine)* // *Institut de Geologie, Universite de Fribourg, Suisse.* – 1979. – P. 353-419.

Mutti E., Ricci Lucchi F. Introduction to the excursions on siliciclastic turbidites: 2nd International Association of Sedimentologists European Regional Meeting Excursion Guidebook, Bologna – 1981. – P. 1–3.

Posamentier H.W., Walker R.G. Facies models revisited // *SEPM.* – 2006. – P. 399-521.

Prelat A., Covault J.A., Hodson D.M., Fildani A., Flint S.S. Intrinsic controls on the range of volumes, morphologies, and dimensions of submarine lobes // *Sedimentary Geology* 232. – 2010. – P. 66-76. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2010.09.010>

Reading H.G., Richards M. Turbidite systems in deep-water basin margins classified by grain size and feeder system // *AAPG Bulletin*. – 1994. - V.78. - No.5. – P. 792-822. DOI: <https://doi.org/10.1306/a25fe3bf-171b-11d7-8645000102c1865d>

Zavala C., Mariano A. Intrabasinal and Extrabasinal turbidites: origin and distinctive characteristics // *Sedimentary Geology* 337. – 2016. – P. 36-54. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2016.03.008>

Mezentseva A.V., Baykov R.P., Zverev K.V.

Gazprom Neft Science and Technology Center (Gazpromneft STC LLC), St. Petersburg, Russia, Mezentseva.AV@gazpromneft-ntc.ru

Solovyev V.V., Butkeev A.S., Ulybina I.V.

JSC Arktikgaz, New Urengoy, Russia

TYPIFICATION OF EXTENSION CONES IN ACHIMOV FORMATION OF THE URENGOY FIELD

The application of the underwater extension cones (fans) classification of G. Reading and M. Richards and a comprehensive analysis of the geological and geophysical data concerning the Urengoy field, allowed us to identify genetically different extension cones within the same lithostratigraphical level (at a distance of less than 21 km). The underwater extension cones differ in morphological characteristics, in the size of the filtration-capacitive parameters (porosity, permeability) and in the nature of the effective thickness distribution in space. The typification of extension cones when assessing the hydrocarbon potential of poorly studied geological objects will make possible to correctly select their analogues.

Keywords: *classification of underwater extension cones, typification of extension cones, Achimov Formation, Urengoy field.*

References

Deptugk M.E., Piper D.J.W., Savoye B., Gervais A. Dimensions and architecture of late Pleistocene submarine lobes off the northern margin of East Corsica // *Sedimentology* 55, 2008, pp. 869-898. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-3091.2007.00926.x>

Mutti E. Turbidites et cones sous-marins profonds, in Peter Homewood (Ed.). *Sedimentation Detritique (Fluviale, Littorale et Marine)* // Institut de Geologie, Universite de Fribourg, Suisse, 1979, pp. 353-419.

Mutti E., Ricci Lucchi F. Introduction to the excursions on siliciclastic turbidites: 2nd International Association of Sedimentologists European Regional Meeting Excursion Guidebook, Bologna, 1981, pp. 1-3.

Mutti E., Normark W.R. Comparing examples of modern and ancient turbidite systems: Problems and concepts, in J.K. Leggett and G.G. Zuffa (eds.), *Marine clastic sedimentology: Concepts and case studies* // Graham & Trotman, London, 1987, pp. 1-38. DOI: https://doi.org/10.1007/978-94-009-3241-8_1

Nezhdanov A.A., Ponomarev V.A., Turenkov N.A., Gorbunov S.A. *Geologiya i neftegazonosnost' achimovskoy tolshchi Zapadnoy Sibiri* [Geology and petroleum potential of the Achimov Formation of Western Siberia]. Moscow: Akademiya gornykh nauk, 2000, 247 p.

Posamentier H.W., Walker R.G. Facies models revisited // *SEPM*, 2006, pp. 399-521.

Prelat A., Covault J.A., Hodson D.M., Fildani A., Flint S.S. Intrinsic controls on the range of volumes, morphologies, and dimensions of submarine lobes // *Sedimentary Geology* 232, 2010, pp. 66-76. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2010.09.010>

Reading H.G., Richards M. Turbidite systems in deep-water basin margins classified by grain size and feeder system // *AAPG Bulletin*, 1994, vol. 78, no. 5, pp. 792-822. DOI: <https://doi.org/10.1306/a25fe3bf-171b-11d7-8645000102c1865d>

Zavala C., Mariano A. Intrabasinal and Extrabasinal turbidites: origin and distinctive characteristics // *Sedimentary Geology* 337, 2016, pp. 36-54. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2016.03.008>