

ЭПОХА ПАЛЕОМЕТАЛЛА

DOI: 10.17746/1563-0102.2018.46.1.034-040
УДК 903.01/.09 + 543.544.3+543.51

В.А. Дерюгин¹, С.В. Суховерхов², Ёсихиро Удзии³, А.Д. Павлов²

¹Дальневосточный федеральный университет
ул. Суханова, 8, Владивосток, 690091, Россия

E-mail: tsukuba01@mail.ru

²Институт химии ДВО РАН

пр. 100-летия Владивостока, 159, Владивосток, 690022, Россия

E-mail: sv28@ich.dvo.ru; yalyonya@gmail.com

³Университет Хиросаки

Бункё-тё, 3, Хиросаки, Аомори, 036-8561, Япония

E-mail: ujiie@hirosaki-u.ac.jp

Идентификация природного битума с археологического памятника Ясное-8 (остров Сахалин)

Представлены результаты исследования образцов вещества, из которого выполнены ленты для реставрации сосуда тымского типа с памятника Ясное-8 в центральной части о-ва Сахалин. На основании аналогичных находок на Японском архипелаге уже изначально предполагалось, что оно является природным битумом. Однако до настоящего времени для подтверждения этого предположения не использовались возможности естественных наук. Кроме идентификации природного битума ставилась задача установления его источника. Изучение образцов проводилось в двух независимых лабораториях различными методами геохимии и петрографии, что позволяет говорить о достоверности полученных результатов. Впервые на территории России для идентификации углеводородного вещества с археологического памятника наряду с элементным и петрографическим анализами использовался метод пиролитической газовой хроматомасс-спектрометрии. Результаты исследования свидетельствуют об использовании на Сахалине в эпоху палеометалла природных битумов, которые в достаточном количестве имеются на острове. Определение конкретного источника сырья осложнено практически полным отсутствием данных по проявлениям битумов, т.к. они не являются объектами промышленного освоения. По имеющимся материалам установлено, что природный битум, обнаруженный на памятнике Ясное-8, своим происхождением связан с Северо-Сахалинской нефтегазоносной областью или прилегающими территориями. Исключена связь образца с месторождениями битума на северо-востоке о-ва Хонсю, а с поверхностными проявлениями углеводородов о-ва Хоккайдо она маловероятна.

Ключевые слова: Сахалин, природные битумы, эпоха палеометалла, керамика тымского типа, пиролитическая газовая хроматомасс-спектрометрия, элементный анализ, петрография.

V.A. Deryugin¹, S.V. Sukhoverkhov², Yoshihiro Ujiie³, and A.D. Pavlov²

¹Far Eastern Federal University,
Sukhanova 8, Vladivostok, 690091, Russia

E-mail: tsukuba01@mail.ru

²Institute of Chemistry, Far Eastern Branch, Russian Academy of Sciences,
Pr. 100-letiya Vladivostoka 159, Vladivostok, 690022, Russia

E-mail: sv28@ich.dvo.ru; yalyonya@gmail.com

³Hiroshima University,

Bunkyo-cho 3, Hiroshima, Aomori, 036-8561, Japan

E-mail: ujiie@hirosaki-u.ac.jp

On the Origin of Natural Bitumen at Yasnoye-8 (Sakhalin Island)

In this study, we analyze samples of a black substance that was used for restoring a Tym-type vessel at Yasnoye-8, Central Sakhalin. On the basis of similar finds from the Japanese archipelago, it was initially assumed to be natural bitumen. However,

science-based methods have not been previously used to test this assumption. In addition to the identification of natural bitumen, we sought to identify its source. The study was carried out independently at two laboratories, using geochemical and petrographic methods, so the results can be considered reliable. For the first time in Russia, the method of pyrolysis gas chromatography – mass spectrometry was used, along with elemental and petrographic analysis, to identify hydrocarbon from an archaeological site. The results confirm the use of natural bitumen during the Early Iron Age. It can be procured in sufficient amounts on Sakhalin Island. Identification of specific sources is complicated by the virtually complete lack of geological data (bitumen is not mined for industrial purposes). Available materials suggest that bitumen found at Yasnoye-8 originates from the northern Sakhalin petroleum zone or from adjacent areas. No relationship to bitumen deposits in northeastern Honshu was found. Nor is it likely that the sample is related to superficial hydrocarbons of Hokkaido.

Keywords: Sakhalin, natural bitumen, Early Iron Age, Tym-type ceramics, pyrolysis gas chromatography – mass spectrometry, elemental analysis, petrography.

Введение

Одним из видов ископаемых углеводородов, которые человек начал использовать с развитием технологий, в первую очередь, при изготовлении орудий промысла, являются природные битумы. Уже в эпохи палеолита и неолита они применялись для крепления каменных орудий к деревянной основе. Адгезивные и гидроизоляционные свойства природных битумов были достойно оценены в самых различных областях человеческой деятельности, от придания различным емкостям водонепроницаемости до строительства сложных инженерных сооружений. Остров Сахалин, наряду с Японским архипелагом, благодаря наличию залежей нефти и активным тектоническим процессам является одним из уникальных мест Северной Евразии, где человек с глубокой древности мог использовать углеводородное сырье в своей хозяйственной деятельности [Дерюгин, 2014].

Предмет исследования

Объектом нашего исследования являлся природный битум на развале сосуда с памятника Ясное-8, расположенного примерно в 5 км к северо-западу от одноименного поселка в верхнем течении р. Тымь в центральной части Сахалина [Дерюгин, 2007а, б, 2010, 2015]. Развал сосуда был обнаружен в 2006 г. при раскопках одиночного котлована прямоугольной в плане формы со скругленными углами размером 22 × 19 м, глубиной 20–50 см от древней поверхности. Сооружение без каких-либо отчетливых столбовых конструкций имело по центру, ближе к восточной стенке, очаг. Предназначение данного объекта однозначно не определено. Однако расположение инвентаря свидетельствует в пользу хозяйственного использования раскопанного сооружения. Каменные изделия (рубящие орудия, скребки, наконечники стрел, проколка и т.д.) встречены в незначительном количестве, типологического разнообразия среди них не наблюдается. Зна-

чительная часть отщепов найдена в виде скоплений в производственных зонах вдоль юго-восточной стенки котлована. Подавляющее большинство керамики обнаружено вдоль юго-западной и северо-восточной стенок котлована.

Памятник однослойный, керамический комплекс морфологически выдержанный, что позволило выделить на Сахалине отдельный тымский тип керамики. На основании 11 радиоуглеродных дат возраст древнего сооружения определен в рамках VII–IV вв. до н.э. [Дерюгин, 2007б, 2015].

Сосуд, с которого были отобраны образцы для исследования, был найден в виде развала № 9 в компактных скоплениях керамики № 29 и 32. Первое из них находилось в яме № 5, второе – примерно в 2 м от нее в углу котлована. Из 22 развалов сосудов, которые удалось частично или полностью реконструировать, только один имеет следы реставрации в древности с помощью лент из природного битума (рис. 1). Это неорнаментированный плоскодонный сосуд открытого типа без горловины с прямым венчиком, не отграниченным от тулова. Внешний край устья слегка отогнут наружу за счет утолщения верхней ленты. По краю днища имеется закраина. Высота емкости 30,8 см, диаметр по внешнему краю венечной части 30,5, донной – 12,2 см. Сосуд изготовлен методом ленточно-кольцевого налепа, ленты скреплены стык в стык. Тесто содержит значительный процент отощителя в виде достаточно хорошо отсортированного мелкого песка. Обжиг костровой при довольно низком температурном режиме.

Полоски вещества черного цвета фиксируются в основном с внешней стороны сосуда, а на вертикальной трещине, образовавшейся в результате обжига изделия, и с внутренней ближе к устьевой части. Горизонтальные полоски располагались на месте стыка глиняных лент, которые, скорее всего, из-за тонкостенности емкости деформировались при обжиге до состояния, близкого к разлому. Большинство из них найдено отслоившимися от стенок сосуда, именно эти фрагменты и были подвергнуты геохимическому и петрологическому анализам.

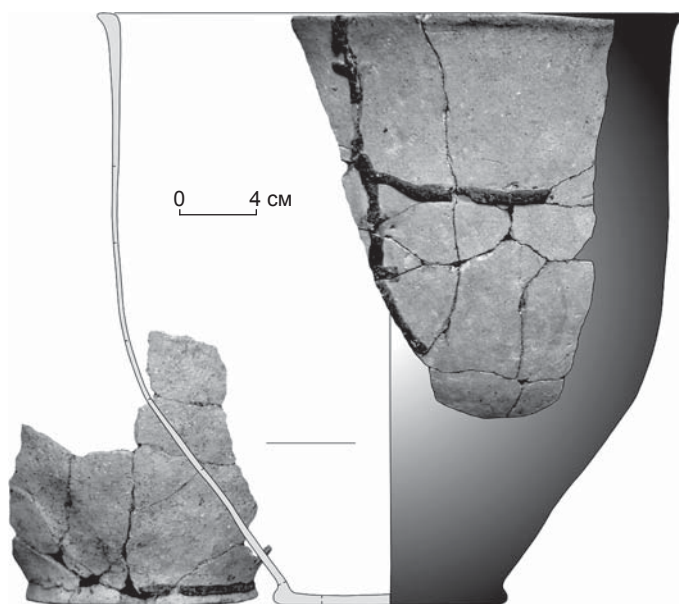


Рис. 1. Развал керамического сосуда тымского типа с остатками лент-склеек из природного битума. Ясное-8.

Постановка проблемы

В ходе исследования мы планировали решить две задачи. Первая – подтвердить предположение о битумной составляющей вещества, с помощью которого в древности осуществлялась реставрация сосуда с трещинами. Из положительного ее решения вытекала вторая – определить конкретный сырьевой источник природного битума с памятника Ясное-8. Относительно использования природных битумов на Сахалине в древности до настоящего времени каких-либо исследований с помощью методов естественных наук не проводилось. Более 20 лет назад на визуальном уровне отмечалось применение при реставрации сосудов в древности лент именно «из асфальто-битумной массы природного происхождения» [Шубина, 1992, с. 126]. Однако имеется предположение и об искусственной природе адгезивного вещества черного цвета на памятниках Сахалина [Василевский, Грищенко, 2012, с. 37].

Вторая задача является не менее актуальной. Если большинство археологических памятников, на которых найден природный битум, на Сахалине локализуется в пределах зоны установленного нефтегазоаккумуляции Северо-Сахалинской нефтегазоносной области [Белонин, Маргулис, 2006], то Ясное-8 располагается на значительном расстоянии от известных месторождений или проявлений данного полезного ископаемого (рис. 2).

Относительно удаления природных источников битумов от места использования этого сырья в раз-



Рис. 2. Расположение археологических памятников, на которых найдены природные битумы (а), и основных проявлений последних (б) в зоне установленного нефтегазоаккумуляции Северо-Сахалинской нефтегазоносной области (в) (использованы данные из следующих работ [Белонин, Маргулис, 2006; Василевский, Грищенко, 2012]).

личные эпохи в других регионах имеются разные примеры. В случае со среднепалеолитической стоянкой Умм-эль-Тлель в Сирии, где найдены каменные орудия со следами крепления битумом, возраст которых ок. 70 тыс лет, источником ископаемого адгезивного материала служило месторождение Джебель-Бишри, расположенное в 40 км от археологического памятника [Voëda et al., 2008], т.е. в пределах однодневного перехода. На территории Азербайджана, где различные формы природных углеводородов использова-

лись с глубокой древности, на поселение Ментештепе, датируемое примерно 3500 г. до н.э., битумы доставлялись с Бяндованского месторождения, расположенного в 460 км [Аббасова, 2012]. Происхождение природного битума с памятника Тэль-эль-Уэйли убейдского периода (4500–3700 гг. до н.э.) в Южной Месопотамии связано с месторождениями Северного Ирака (район современного Киркука) [Connan, 1999, p. 40–41], а их удаленность превышала 500 км.

На сопредельном с Сахалином Японском архипелаге, где использование битумов фиксируется со второй половины начального дзёмона, а наибольшее – в поздний и финальный периоды этой эпохи, по ситуации с удаленностью источников сырья от мест потребления выделяют три группы [Фукуи Дзюнъити, 2010, с. 487]. В первой источники ископаемого адгезивного материала находились на расстоянии не более 50 км от поселения-потребителя. В этом случае доля наконечников со следами крепления битумом могла достигать более 50 % от всех найденных на памятнике, как, например, на территории преф. Ниигата, где имеются достаточные проявления битумов. Во второй группе источники располагались на расстоянии 50–100 км от поселений, а в третьей – 100–150 км. С ростом их удаленности пропорционально снижается потребление данного сырья.

К югу от памятника Ясное-8 ближайшие поверхностные проявления природных битумов известны на севере Хоккайдо на территориях, которые примыкают к проливу Соя. Они фиксируются на нефтяных месторождениях Вакканай, Мэнаси и Кита-Тоётоми [Там же, с. 490]. К сожалению, их идентификационные показатели нам не известны в силу слабой изученности битумов Хоккайдо, как и Сахалина. Однако отметим, что имеется утверждение, основанное на результатах хроматомасс-спектрометрии [Kato et al., 2008, p. 1027], согласно которому источником природных битумов с ряда памятников Хоккайдо является северо-сахалинское месторождение Нутово.

Методика исследования

Для идентификации природы органических соединений в образце вещества с памятника Ясное-8 применялся метод пиролизической газовой хроматомасс-спектрометрии (условия стандартные) [F-Search..., 2010; Суховерхов и др., 2014]. Использовался газовый хроматомасс-спектрометр Shimadzu GCMS QP-2010 с пиролизером Double-Shot PY-2020iD. Температура печи пиролизера 600 °C, интерфейса PY/GC – 320 °C. Разделение продуктов пиролиза проводили на колонке Ultra ALLOY-5, газ-носитель – гелий. Программирование температуры колонки от 40 до 320 °C, скорость 20 °C/мин. Сравнение пирогрaмм между собой

проводилось с помощью программного обеспечения F-Search “All-In-One”. Ver. 3.10.

Для соотнесения образца с памятника Ясное-8 с каким-то конкретным поверхностным проявлением природных битумов проведены дополнительные исследования по следующим параметрам: элементный состав битумов, состав и свойства (отражательная способность) мацералов. Для CHNO-анализа использовался газовый хроматограф Янагимото MT-5. Условия стандартные: газ-носитель – гелий, расход 180 мл/мин. При определении содержания углерода, водорода и азота температура камеры сжигания составляла 950 °C, камеры окисления – 850, камеры восстановления – 550 °C; кислорода – соответственно 1050; 1000 и 300 °C. Непосредственно перед проведением анализа образец более суток подвергался сушке в вакуумном эксикаторе.

В качестве вспомогательного маркера при сравнении с материалами Японского архипелага использовались процентный вещественный состав мацералов (органических микрокомпонентов) битума и коэффициент отражаемости одного из них [Stach et al., 1982; Xiao Xianming et al., 1998]. Изучение вещественного состава проводилось на микроскопе Axio Imager A2m производства Carl Zeiss MicroImaging при 500-кратном увеличении в отраженном свете. Количественное соотношение мацералов определяли исходя из 400 контрольных точек на 100 мкм с помощью программного обеспечения IBM SPSS Statistics version 21. При определении мацералов на основе коэффициента отражения и морфологических характеристик использовалась Международная классификация [The New Vitrinite Classification..., 1998; The New Inertinite Classification..., 2001].

Результаты исследований

Установлено, что вещество, использовавшееся на памятнике Ясное-8, относится к природным битумам, которые широко распространены на северо-востоке Сахалина как поверхностные проявления в виде асфальтовых озер и залежей киров [Ярошевич, Кравченко, 1984]. При исследовании образца методом пиролизической газовой хроматомасс-спектрометрии в стандартной библиотеке программы F-Search “All-In-One”. Ver. 3.10 не найдено совпадений более 30 % с большинством известных природных и синтетических полимеров. При поиске соответствий в библиотеке образцов нефтей и асфальтосмолопарафиновых отложений (АСПО) с западно-сибирских и сахалинских месторождений* установлено, что исследуемое

*Библиотека создана авторами на основе имеющихся у них образцов и не охватывает все месторождения.

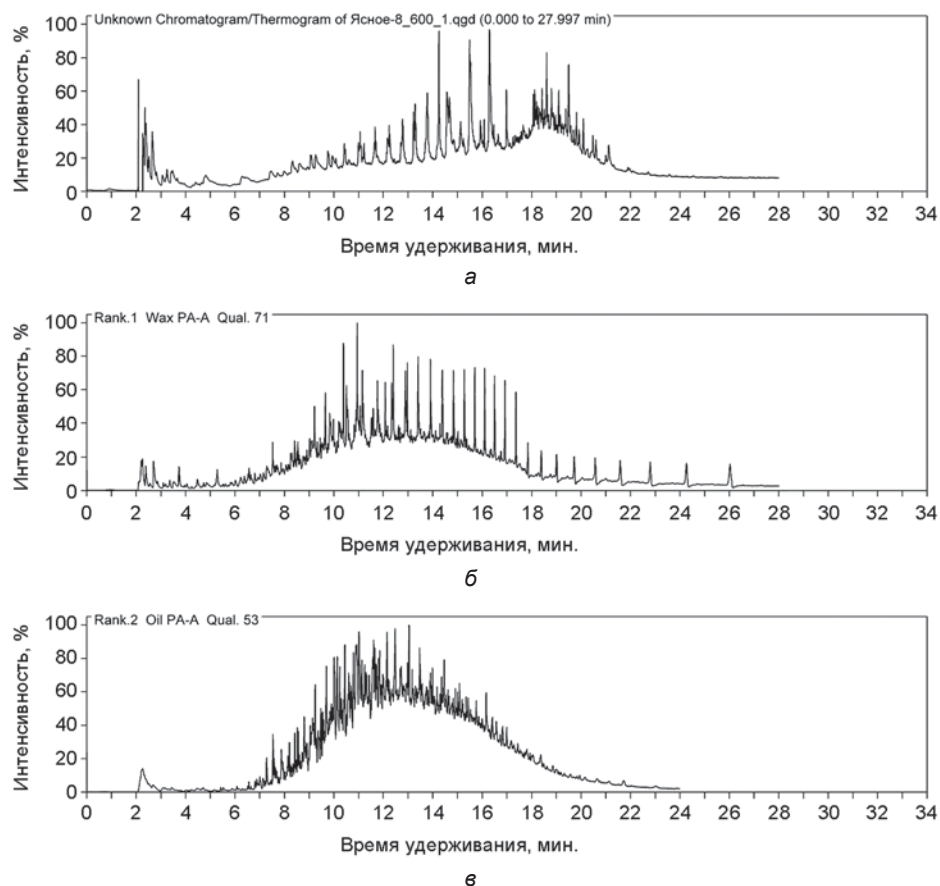


Рис. 3. Пирограммы образцов природного битума с памятника Ясное-8 (а), АСПО (б) и нефти (в) с сахалинских месторождений.

Содержание мацералов в образцах битумов с памятника Ясное-8 и группы памятников северо-востока Хонсю, %

Группа мацералов	Мацерал	Ясное-8, пос. Ясное	Синмити, пос. Киконай	Тангояти, г. Хатинохе	Тангояти (свалка), г. Хатинохе	Кацзахари, г. Хатинохе	Мацугасаки, г. Хатинохе
Липтиниты	Аморфинит	87,50	98,00	98,25	98,50	98,75	92,75
	<i>Итого</i>	87,50	98,00	98,25	98,50	98,75	92,75
Витриниты	Телинит	1,50	0,25	0,50	0,25	0,25	1,00
	Витродетринит	4,25	0,75	0,75	0,50	0,50	1,75
	Корпоколинит	0,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Гелинит	2,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,75
	<i>Итого</i>	9,00	1,00	1,25	0,75	0,75	3,50
Инертиниты	Фюзинит	0,25	0,25	0,00	0,00	0,25	0,25
	Семифюзенит	0,75	0,25	0,25	0,50	0,25	0,50
	Фунгинит	0,00	0,50	0,00	0,00	0,00	0,75
	Инертодетринит	2,50	0,00	0,25	0,25	0,00	2,25
	<i>Итого</i>	3,50	1,00	0,50	0,75	0,50	3,75

вещество содержит нефтяные углеводороды и по составу наиболее похоже на АСПО (совпадение 71 %) и нефть (совпадение 53 %) с месторождений Сахалина (рис. 3). Совпадение от 30 до 45 % с образцами нефти и АСПО других территорий также однозначно указывает на нефтяную природу этого вещества.

CHNO-анализ показал следующий элементный состав образца битума с памятника Ясное-8:

H	6,02
C	66,39
N	1,14
O	19,78
Золы	2,97
H/C	1,09
O/C	0,22

В первую очередь обращает на себя внимание низкое содержание углерода. Если судить по соотношению основных элементов, то наблюдается некоторая близость данного образца с природными битумами Нутовского проявления [Основные пути..., 1961, с. 152–153]. Однако полная база данных по мелким проявлениям битумов и залежам киров отсутствует, что не позволяет точно определить источник битумного сырья, использовавшегося на памятнике Ясное-8.

По составу мацералов исследуемый образец отличается от природных битумов некоторых памятников на северо-востоке о-ва Хонсю (см. *таблицу*). Хотя во всех случаях преобладает аморфинит, его содержание значительно выше в битумах, источниками которых являлись установленные месторождения на Хонсю. Что касается мацералов групп витринитов и инертинитов, то их больше в исследуемом образце.

Коэффициент отражения аморфинита, содержащегося в битуме с памятника Ясное-8, составляет 5,68 %. Это указывает на более высокую отражательную способность по сравнению с образцами с исследованных ранее месторождений и археологических памятников на северо-востоке Хонсю [Удзинэ Ёсихиро, 2013]. Данные по отражательной способности аморфинита природных битумов с месторождений Сахалина и Хоккайдо в настоящее время отсутствуют или малоизучены.

Заключение

В результате проведенных геохимических и петрографических исследований адгезивного вещества черного цвета на сосуде с памятника Ясное-8 полностью подтверждено, что это природный битум, поверхностные проявления которого широко распространены на северо-востоке Сахалина. Установить конкретный источник сырья на данном этапе невозможно в силу полного отсутствия сведений о многочисленных мелких поверхностных прояв-

лениях углеводородов и малоизученности крупных, частично исследовавшихся на предмет промышленного освоения. Судя по наличию определенных механических примесей, не исключаем, что природный битум с Ясного-8 происходит из какого-то неизвестного незначительного проявления киров в окрестностях памятника. Этот битум точно не связан с месторождениями на северо-востоке о-ва Хонсю. Связь с поверхностными проявлениями углеводородов о-ва Хоккайдо на настоящий момент остается под вопросом, но является маловероятной.

Благодарности

Авторы выражают огромную признательность за помощь при проведении исследований и подготовке данной публикации С.В. Горбунову, Ато Какиuti, А.С. Колосовскому, Кадзуюки Накамура, Тацухито Сэкинэ, О.А. Шубиной. В работе использовалось оборудование Дальневосточного центра структурных исследований Института химии ДВО РАН.

Список литературы

- Аббасова Д.Р.** Определение источника происхождения битума, нанесенного на керамическую посуду, найденную в Ментештепе – древнем поселении Азербайджана // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 2: Химия. – 2012. – Т. 53, № 6. – С. 401–404.
- Белонин М.Д., Маргулис Л.М.** Нефтегазовый потенциал и перспективы освоения углеводородных ресурсов Востока России // Нефтегазовая геология: Теория и практика. – 2006. – Т. 1. – С. 1–18. – URL: <http://www.ngtp.ru/rub/6/13.pdf> (дата обращения: 01.01.2016 г.).
- Василевский А.А., Грищенко В.А.** Сахалин и Курильские острова в эпоху палеометалла (I тыс. до н.э. – первая половина I тыс. н.э.) // Учен. зап. Сахалин. гос. ун-та. – 2012. – Вып. IX. – С. 29–41.
- Дерюгин В.А.** Предварительные результаты исследования на памятнике Ясное-8 в рамках проекта Сахалин-2 // Археологические исследования переходного периода от неолита к железному веку на Дальнем Востоке России / под ред. Кумаки Тосиаки, Фукуда Масахиро. – Токио: Университет Токио, 2007а. – С. 39–47.
- Дерюгин В.А.** Раскопки на памятнике Ясное-8 в рамках проекта Сахалин-2 в 2006 году: научный отчет. 2007б. 178 с. // Архив ИА РАН. – Р-1. № 47315, 47316.
- Дерюгин В.А.** Керамика тымского типа и вопросы классификации, периодизации керамических комплексов эпохи палеометалла Сахалина // Приоткрывая завесу тысячелетий: К 80-летию Ж.В. Андреевой. – Владивосток: Рея, 2010. – С. 246–258.
- Дерюгин В.А.** Природные битумы на дальневосточных островах в древности // Евразия в кайнозое: Стратиграфия, палеоэкология, культуры. – 2014. – Вып. 3. – С. 56–63.
- Дерюгин В.А.** Ясное-8 – памятник эпохи палеометалла Центрального Сахалина // Первобытная археология Даль-

него Востока России и смежных территорий Восточной Азии: современное состояние и перспективы развития: материалы регион. науч. конф. – Владивосток: Дальнаука, 2015. – С. 149–157.

Основные пути преобразования битумов в природе и вопросы их классификации / В.А. Успенский, О.А. Радченко, Е.А. Глебовская, А.П. Шишкова, Т.Н. Мельцанская, Ф.Б. Инденбом. – Л.: Гостоптехиздат, 1961. – 314 с.

Суховерхов С.В., Прокуда Н.А., Павлов А.Д., Сергиенко В.И. Использование пиролитической газовой хроматомасс-спектрометрии и двумерной газовой хроматомасс-спектрометрии для анализа органических соединений в донных осадках // Вестн. ДВО РАН. – 2014. – № 6. – С. 151–159.

Удзинэ Ёсихиро. Определение происхождения асфальта, найденного на памятниках дзёмона в г. Хакодатэ // Хакодатэ-си итаку кэнкю: «Хакодатэ-си дзё:мон бунка токубэцу кэнкю:» хо:кокусё (Отчет по контрактным исследованиям в г. Хакодате «Специальные исследования культуры дзёмона в г. Хакодате»). – Хиросаки: Хиросаки дайгаку, 2013. – С. 6–17 (на яп. яз.). – URL: http://www.hjcc.jp/files/H24hjcc_report.pdf (дата обращения: 01.01.2016 г.).

Фукуи Дзюнъити. Использование природных битумов на Хоккайдо в культурах дзёмона и эпидзёмона // Фу:ё:хо-но ко:когаку. Икэгами Сатору сэнсэй канрэки киннэн ронбунсю: (Археология Фуёхо: сб. ст., посвящ. 60-летию профессора Икэгами Сатору). – Токио: Рокуити сёбо, 2010. – С. 485–494 (на яп. яз.).

Шубина О.А. Археологические раскопки поселения Северо-Сахалинск I в Охинском районе в 1989 году // Краевед. бюл. – Южно-Сахалинск, 1992. – № 2. – С. 125–126.

Ярошевич М.С., Кравченко Т.Н. Природные битумопроявления на Северном Сахалине // Природные битумы – дополнительный источник углеводородного сырья. – М.: Ин-т геологии и разработки горючих ископаемых, 1984. – С. 52–54.

Boëda E., Bonilauri S., Connan J., Jarvie D., Mercier N., Tobey M., Valladas H., Al Sakhel H. New Evidence for Significant Use of Bitumen in Middle Palaeolithic Technical Systems at Umm el Tlel (Syria) around 70,000 BP // *Paleorient*. – 2008. – Vol. 34, N 2. – P. 67–83.

Connan J. Use and Trade of Bitumen in Antiquity and Prehistory: Molecular Archaeology Reveals Secrets of Past Civilizations // *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*. – 1999. – Vol. 354. – P. 33–50.

F-Search “All-In-One”. Ver.3.10. Mass Spectral Libraries for Polymers and Additives, and Search Software. – Koriyama: Frontier Laboratories Ltd., 2010. – 61 p.

Kato K., Miyao A., Ito J., Soga N., Ogasawara M. The Search for the Origin of Bitumen Excavated from Archaeological Sites in the Northernmost Island in Japan by Means of Statistical Analysis of FI-MS Data // *Archaeometry*. – 2008. – Vol. 50, iss. 6. – P. 1018–1033.

Stach E., Mackowsky M.-Th., Teichmüller M., Taylor G.H., Chandra D., Teichmüller R. Stach’s Textbook of Coal Petrology. – Third Revised and Enlarged Ed. – B.: Gebrüder Borntraeger, 1982. – 535 p.

The New Inertinite Classification (ICCP System 1994) / International Committee for Coal and Organic Petrology // *Fuel*. – 2001. – Vol. 80, iss. 4. – P. 459–471.

The New Vitrinite Classification (ICCP System 1994) / International Committee for Coal and Organic Petrology // *Fuel*. – 1998. – Vol. 77, iss. 5. – P. 349–358.

Xiao Xianming, Wilkins R.W.T., Liu Zufa, Fu Jiamo. A Preliminary Investigation of the Optical Properties of Asphaltene and their Application to Source Rock Evaluation // *Organic Geochemistry*. – 1998. – Vol. 28, N 11. – P. 669–676.

*Материал поступил в редколлегию 19.02.16 г.,
в окончательном варианте – 19.02.17 г.*