



Вестник Международного университета природы, общества и человека «Дубна»

Серия «Естественные и инженерные науки»

№ 1 (42), 2019

Выходит с ноября 1996 года

Редакционный совет:

Фурсаев Д. В.
(председатель)
Багдасарьян Н. Г.
Венгер А. Л.
Капаччиоли М. (Италия)
Кореньков В. В.
Клейнер Г. Б.
Красавин Е. А.
Крюков Ю. А.
Кузнецов О. Л.
Малахов А. И.
Михайлова Н. В.
Оганесян Ю. Ц.
Островский М. А.
Сахаров Ю. С.
Черемисина Е. Н.
Черепанова В. Г.

Редакционная коллегия:

Деникин А. С.
(гл. редактор)
Савватеева О. А.
(зам. гл. редактора,
отв. секретарь)
Полотнянко Н. А.
(техн. секретарь)
Анисимова О. В.
Борейко А. В.
Гладышев П. П.
Каляшин С. В.
Карпов А. В.
Колганова Е. А.
Немченко И. Б.
Сокотущенко В. Н.

В номере:

- Архипова Е.В., Жигалин А.Д., Брянцева Г.В., Гусева И.С., Тормышева Е.Э.
**Особенности долговременных вариаций сейсмичности активных
мегаструктур современной Земли** 3
- Зуев Б.К., Пеункова Е.С., Фадейкина И.Н., Моржухина С.В.
**Метод окситермографии для исследования распределения органиче-
ского вещества и трансдермальных свойств поверхности кожи лица** 13
- Омарова Н.М., Ташенов А.К., Нуркасимов М.У., Кокораева А.К.
**Исследование состава мха – естественного биоиндикатора
для мониторинга воздуха Восточно-Казахстанской области** 19
- Попова Е.С., Михайлова А.В., Моржухина С.В., Зуев Б.К.
**Химический состав воды пресного озера Белое (НП «Мещера»)
по данным метода атомно-эмиссионной спектроскопии
с индуктивно-связанной плазмой** 26
- Румянцев Н.С., Гусев К.Н.
Эксперименты по поиску двойного безнейтринного бета распада 32
- Савватеева О.А., Шахова Н.А., Старостина И.А.
Формирование экологической культуры на современном этапе 40
- Степченко В.С., Валганов С.В.
**Опыт эффективной фотограмметрии дольменов Кавказа в условиях
максимально ограниченных ресурсов** 48
- Швецова М.С., Каманина И.З., Фронтьева М.В., Мададаза А.И.,
Зиньковская И.И., Павлов С.С., Вергель К.Н., Юшин Н.С.
**Применение активного биомониторинга с помощью техники «мох
в мешках» на территории музея-заповедника «Царицыно»** 68

ISSN 1818-0744

Свидетельство о регистрации
средства массовой информации
ПИ № ФС77-25824 от 28 сентября
2006 г.

© Государственный университет,
«Дубна», 2018

Все рукописи
рецензируются

Корректор
Цепилова Ю.С.

**Макет и верстка
номера**
Цепилова Ю.С.

Мнение редакции может
не совпадать с мнением
авторов

Адрес редакции
141982, г. Дубна Моск. обл.,
ул. Университетская, 19
Тел.: (+7 49621)6-60-89, 1355
E-mail: izdat@uni-dubna.ru

Подписано в печать 23.09.2019.
Формат 60×90/8.
Усл. печ. л. 9,5.
Тираж 150 экз. Заказ № 28.
Отпечатано в общем отделе
университета «Дубна»
141980, г. Дубна Моск. обл.,
ул. Университетская, 19



Bulletin of Dubna International University for Nature, Society, and Man

Seria "Natural and engineering sciences"

No. 1 (42), 2019

Published since November 1996

Editorial council:

Fursaev D. V.
(Chairman)
Bagdasarjan N. G.
Capaccioli M.
Cheremisina Eu. N.
Cherepanova V. G.
Kleiner G. B.
Korenkov V. V.
Krasavin Eu. A.
Kryukov Y. A.
Kuznetsov O. L.
Malakhov A. I.
Mikhailova N. V.
Oganessian Yu. T.
Ostrovsky M. A.
Sakharov Yu. S.
Venger A. L.

Editorial board:

Denikin A. S.
(Chief Editor)
Savvateeva O. A.
(Deputy Chief Editor,
Executive Secretary)
Polotnyanko N. A.
(Technical Editor)
Anisimova O. V.
Boreyko A. V.
Gladyshev P.P.
Kalyashin S. V.
Karpov A. V.
Kolganova E. A.
Nemchenok I. B.
Sokotushchenko V. N.

In the issue:

- Arkhipova E.V., Zhigalin A.D., Bryantseva G.V., Guseva I.S., Tormysheva E.E.
Features of long-term seismicity variations of active megastructures of the modern Earth 3
- Zuev B.K., Peunkova E.S., Fadeykina I.N., Morzhukhina S.V.
The oxythermography for investigation the distribution of organic substances to the face and transdermal properties of the skin 13
- Omarova N.M., Tashenov A.K., Nurkassimova M.U., Kokoraeva A.K.
Investigation of the composition of moss, which is a natural bioindicator, for air monitoring in the East Kazakhstan region 19
- Popova E.S., Mikhailova A.V., Morzhukhina S.V., Zuev B.K.
The chemical composition of the water of the fresh Lake Beloe (NP "Meshera") according to the method of atomic emission spectrometry with inductively coupled plasma 26
- Rumyantseva N.S., Gusev K.N.
Neutrinoless double beta decay experiments 32
- Savvateeva O.A., Shakhova N.A., Starostina I.A.
Formation of ecological culture at the present stage 40
- Stepchenkov V.S. Valganov S.V.
Caucasus dolmens photogrammetry efficient experience in resource-limited settings 48
- Shvetsova M.S., Kamanina I.Z., Frontasyeva M.V., Madadzada A.I., Zinikovskaia I.I., Pavlov S.S., Vergel K.N., Yushin N.S.
Active moss biomonitoring using the "moss bag technique" at the state museum-reserve "Tsaritsyno" 68

ISSN 1818-0744

Certificate of Registration
No. ПИ № ФС77-25824
of 28 September 2006

© Dubna State University, 2018

All manuscripts are reviewed

Proof-reader
Tcepilova J. S.

Issue make-up
Tcepilova J. S.

The opinion of publishing author not
always coincides with the editorial
opinion

Editorial board address:
19 Universitetskaya St., 141982 Dubna,
Moscow Region, Russia
Phone: (+7 49621)6-60-89, 1355
E-mail: izdat@uni-dubna.ru

Passed for printing
on 23.09.2019
150 copies

УДК 550.24

**Е. В. Архипова, А. Д. Жигалин, Г. В. Брянцева, И. С. Гусева,
Е. Э. Тормышева**

Особенности долговременных вариаций сейсмичности активных мегаструктур современной Земли

На основе сравнительного анализа долговременных вариаций количества землетрясений установлен ряд характерных особенностей сейсмического режима в различных геодинамических обстановках, включая области субдукции, коллизии, рифтогенеза и спрединга. В их числе согласованное синхронное или противофазное изменение количества землетрясений для регионов в пределах единых мегаструктур, согласованные изменения активности землетрясений на различных глубинных уровнях. Полученные данные свидетельствуют о системном единстве проявлений сейсмичности Земли и позволяют использовать метод сравнительного анализа для выявления динамически связанных объемов литосферы.

Ключевые слова: долговременные вариации сейсмической активности, современные геодинамические процессы, согласованные вариации количества землетрясений

Об авторах

Архипова Елена Витальевна – кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры экологии и наук о Земле, доцент кафедры общей и прикладной геофизики факультета естественных и инженерных наук государственного университета «Дубна». E-mail: olenageo@mail.ru. 141825 Московская обл., Дмитровский р-он, с. Орудьево, ул. Центральная, д. 7.

Жигалин Александр Дмитриевич – кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории разработки методов прогноза землетрясений ИФЗ РАН им. О.Ю. Шмидта, ведущий научный сотрудник кафедры инженерной и экологической геологии геологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова.

Брянцева Галина Владимировна – кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры динамической геологии геологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, доцент кафедры экологии и наук о Земле государственного университета «Дубна».

Гусева Ирина Сергеевна – аспирант кафедры экологии и наук о Земле государственного университета «Дубна».

Тормышева Екатерина Эдуардовна – студент магистратуры кафедры экологии и наук о Земле государственного университета «Дубна».

Пространственная приуроченность землетрясений к тектонически активным поясам Земли, высокая сейсмичность определенных уровней литосферы, наличие глобальных периодов увеличения количества сильных землетрясений позволяют рассматривать сейсмические процессы как закономерное проявление современной геодинамической жизни планеты. В 1988 г. японский сейсмолог К. Могги отмечал: «То обстоятельство, что сейсмическая активность возрастает сразу на всем протяжении границ плит, а затем сразу прекращается, заслуживает пристального внимания. Это означает, что весьма отдаленные районы связаны друг с другом механически». К. Могги рассматривал наличие синхронных периодов активности на отрезках Тихоокеан-

ского и Альпийско-Гималайского поясов как «подтверждение теории жестких плит с точки зрения сейсмологии» [8]. Н.Н. Горькавым и соавторами выявлено наличие взаимосвязи вариаций числа землетрясений для отдельных полушарий и сегментов земного шара, которое авторы связывают с особенностями перераспределения напряжений и деформаций в результате неравномерного вращения Земли [4]. В феврале 2009 г. на Сагитовских чтениях, организуемых ГАИШ МГУ, представлен доклад, в котором отмечена синхронность крупных литосферных деформаций и сильных землетрясений Земли. В рамках геодинамической ротационной модели, предлагаемой докладчиками, процессы перераспределения напряженно-деформированного состояния земной коры, в том числе в местах подготовки сейсмических событий, классифицируются как реакция момента количества движения отдельных

блоков или совокупности фрагментов литосферы на изменение скорости вращения Земли [7]. Увеличение плотности сети сеймостанций, точности определения координат эпицентров, глубины очагов землетрясений и их магнитуды в целом повышает достоверность сейсмических наблюдений, представительность сейсмических каталогов и позволяет использовать сейсмологические данные для более детальных и обоснованных обобщений.

Цель и задачи исследований

Основной целью исследований является выявление долговременных тенденций изменения сейсмичности в пределах зон современной геодинамической активности и поиск закономерностей, позволяющих наметить черты сходства и системного единства для отдельных сейсмоактивных регионов по латерали и по вертикали.

В предлагаемой статье выполнено обобщение материалов, полученных с использованием сравнительного анализа долговременных изменений количества землетрясений в течении последних пяти лет, дополненное новыми материалами, в основном посвященным исследованиям современной активности Тихоокеанского пояса [1–3; 5; 6]. Исследованы сейсмоактивные регионы с принципиально разным стилем геодинамического развития. Сравнительный анализ выполнен для островных дуг Западно-Тихоокеанской окраины и сейсмоактивных районов Восточной части Тихоокеанского пояса, различных сегментов в пределах коллизионных зон Альпийско-Гималайского пояса (АГП) с отличающимися стилями геодинамического развития, включая процессы поперечного сжатия и укорочения АГП и процессы сдвигового характера, обеспечивающие отток горных масс из областей максимального сжатия. Рассматривались вариации сейсмичности в обстановке континентального рифтогенеза – в пределах Байкальской рифтовой зоны, а также в обстановке спрединга в районе хребта Книповича.

Исходные данные и методика

В качестве основного метода для выявления системных взаимосвязей между отдельными сейсмоактивными блоками земной коры применялся сравнительный анализ долговре-

менных изменений количества землетрясений. Исходные данные для анализа получены с использованием Всемирного каталога землетрясений Геологической службы США [10]. Главным отличием от методики, реализованной Н.Н. Горькавым с соавторами [4], является то, что выделяются не отдельные геометрически правильные сегменты, а регионы, развитие которых происходит в условиях определенных геодинамических обстановок.

Сейсмический процесс принято рассматривать как процесс разрядки упругих напряжений, возникающих в ходе тектонических деформаций, и масштаб таких деформаций на разных уровнях структурной организации вещества отличается. Процессы акустической эмиссии отражают разрушение в локальных объемах, слабые землетрясения могут быть проявлением деформационных процессов в отдельных тектонических структурах и районах, сильные события сравнительно редки и являются результатом разрядки напряжений, возникающих в планетарном масштабе. При сравнительном анализе принимаются во внимание землетрясения, начиная с магнитуд 4,5, т.е. основной объем выборки представляют землетрясения средней силы. Сопоставление вариаций таких событий и выявление их корреляционных взаимосвязей позволяет обнаружить системное единство геодинамических процессов общего происхождения, управляемых процессами регионального масштаба на конвергентных границах плит.

Реализация метода включает несколько этапов. На предварительном этапе в сейсмически активных поясах выделяются объемы с высокой плотностью очагов землетрясений, затем в пределах таких объемов выполняется анализ распределения гипоцентров по глубинам, выделяются наиболее активные уровни. Для каждой выборки проводится анализ представительности каталога путем построения графиков повторяемости, производится выбор минимальной магнитуды выборки для построения временных рядов (рис. 1).

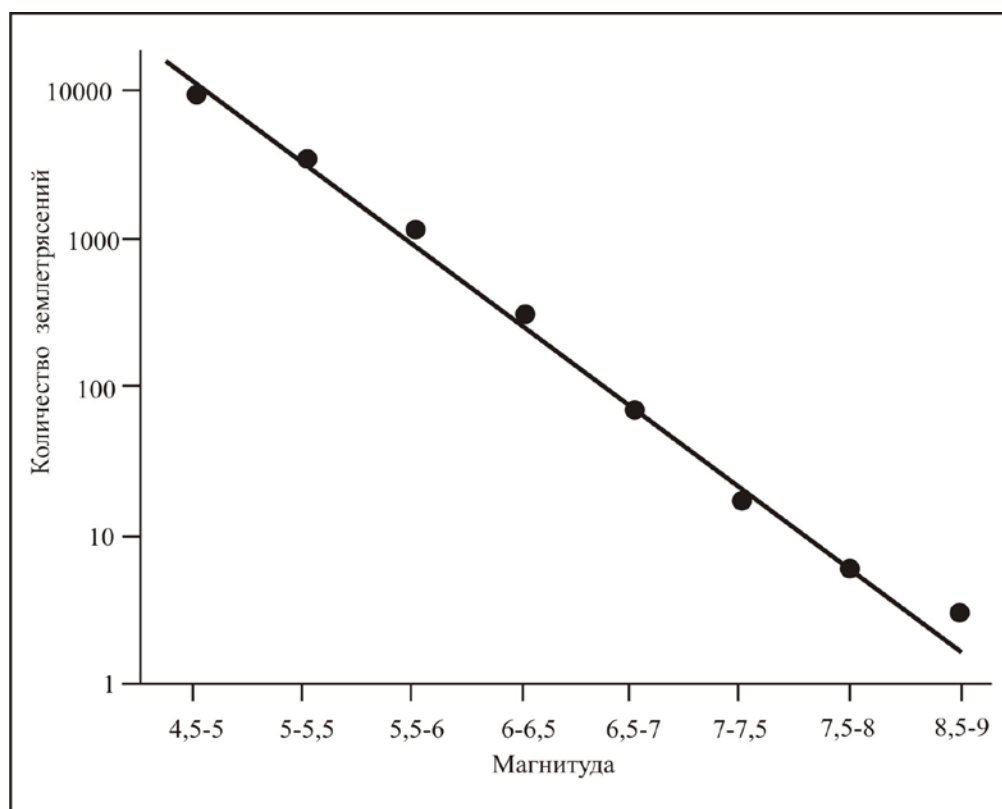


Рис. 1. График повторяемости сейсмических событий в районе желоба Тонга в период с 1973 по 2018 гг.

На следующем этапе для активных блоков в целом и для отдельных сейсмоактивных уровней строятся временные ряды, отражающие вариации количества землетрясений. Для получения графиков, отражающих плавные тенденции в изменении сейсмической активности, проводится скользящее осреднение пятилетних и десятилетних сумм землетрясений со сдвигом в один год, проводится их перекрестная парная корреляция. Полученные данные, по существу, отражают временной ритм современных геодинамических процессов и позволяют выявить регионы с согласованным геодинамическим развитием. Результаты анализа сопоставляются с информацией по геологическому строению, особенностям современного развития активных блоков литосферы, проводится геотектоническая интерпретация полученных данных.

Результаты и их обсуждение

В ходе исследований авторами выявлены черты системного единства проявлений сейсмичности в пределах современных тектонически активных поясов, отдельных объемов литосферы в их пределах, различных уровней коры и верхней мантии. Рассмотрим сейсмо-

активные районы с различным стилем геодинамического развития.

Тихоокеанский пояс. Тихоокеанский пояс является самой крупной мегаструктурой современной Земли. В его пределах происходит три четверти всех регистрируемых сейсмических событий. Высокая сейсмическая активность пояса обусловлена процессом субдукции – пододвигания Тихоокеанской литосферной плиты под окрестные континенты и островные дуги. Очаги землетрясений в пределах пояса распространены в широком интервале глубин вплоть до более 700 км и приурочены к наклонной поверхности – зоне Заварицкого-Ваадати-Беньофа (зоне ЗВБ), представляющей собой область контакта литосферных плит в зоне субдукции. В ходе исследования сейсмоактивные окраины Тихого океаны были разделены на отдельные сегменты с высокой плотностью сейсмических событий. В целом такие сегменты для западной части Тихого океана соответствуют островным дугам с примыкающими зонами глубоководных желобов, для восточной части – участкам высокой концентрации событий вдоль окраин Андского типа, включая горноскладчатые сооружения в зонах субдукции

и примыкающие области желобов. По каждому из выделенных сегментов сделаны выбор-

ки событий с $M_{\min}$ от 4,5.

Таблица 1. Корреляция временных рядов сейсмоактивных секторов в приэкваториальной части Тихого океана для всех глубин. Скользящее среднее по 10 годам, период 1973–2018 гг.

	Центрально-Американский желоб	Марианская дуга	Идзу-Боннинская дуга	Японский желоб
Центрально-Американский желоб		0,89	0,89	0,94
Марианская дуга	0,89		0,76	0,80
Идзу-Боннинская дуга	0,89	0,76		0,92
Японский желоб	0,94	0,80	0,92	

Таблица 2. Корреляция временных рядов в пределах сейсмоактивных секторов в приэкваториальной части Тихого океана для глубин менее 30 км. Скользящее среднее по 10 годам, период 1973–2018 гг.

	Центрально-Американский желоб	Марианская дуга	Идзу-Боннинская дуга	Японский желоб
Центрально-Американский желоб		0,98	0,95	0,95
Марианская дуга	0,98		0,94	0,93
Идзу-Боннинская дуга	0,95	0,94		0,96
Японский желоб	0,95	0,93	0,96	

На основе выборок рассчитаны временные ряды со скользящим осреднением годового количества землетрясений по пяти и десяти годам, отражающие длиннопериодные вариации землетрясений. Временные ряды строились для регионов в целом, а также для отдельных уровней с высокой сейсмической активностью. Парной корреляцией временных рядов выявлены динамически связанные регионы со сходным режимом сейсмичности как для регионов в целом, так и на определенных

уровнях глубины (табл. 1, 2). Выяснилось, что сейсмические вариации по обе стороны Тихого океана обладают близким соответствием. Наиболее высокая корреляция выявлена для Японской и Идзу-Боннинской островных дуг (рис. 2).

Скользящее осреднение по 5 годам, сдвиг один год, интервал данных с 1973 по 2018 гг., на горизонтальной оси указан год середины пятилетнего интервала.

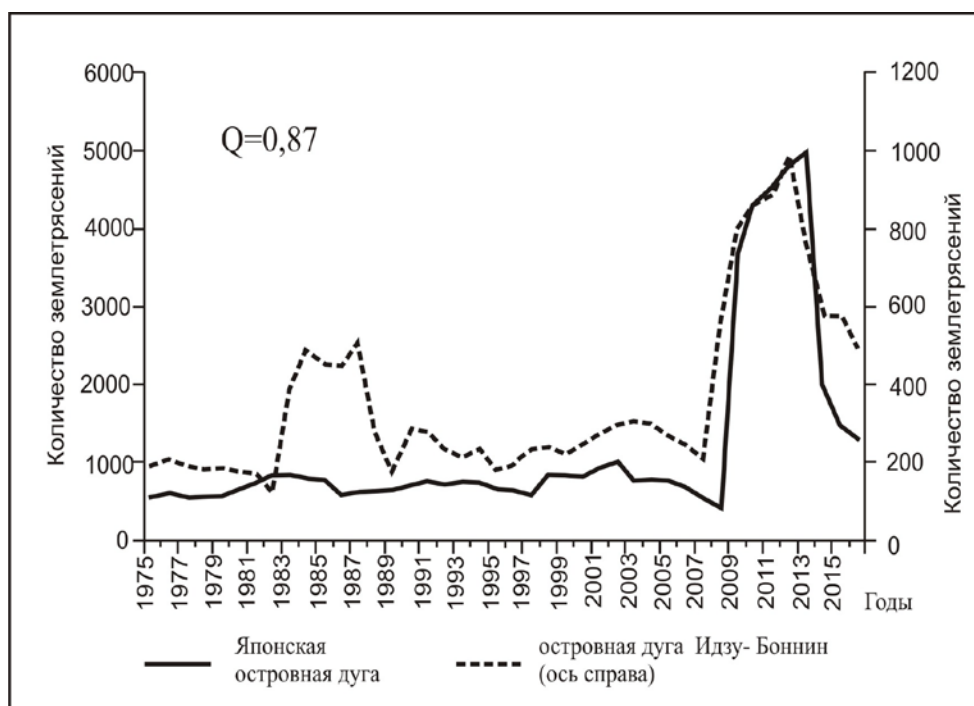


Рис. 2. Синхронное изменение количества событий с M от 4,5 для Японской островной дуги и Идзу-Боннинской островной дуги, расположенных в пределах Западно-Тихоокеанской окраины

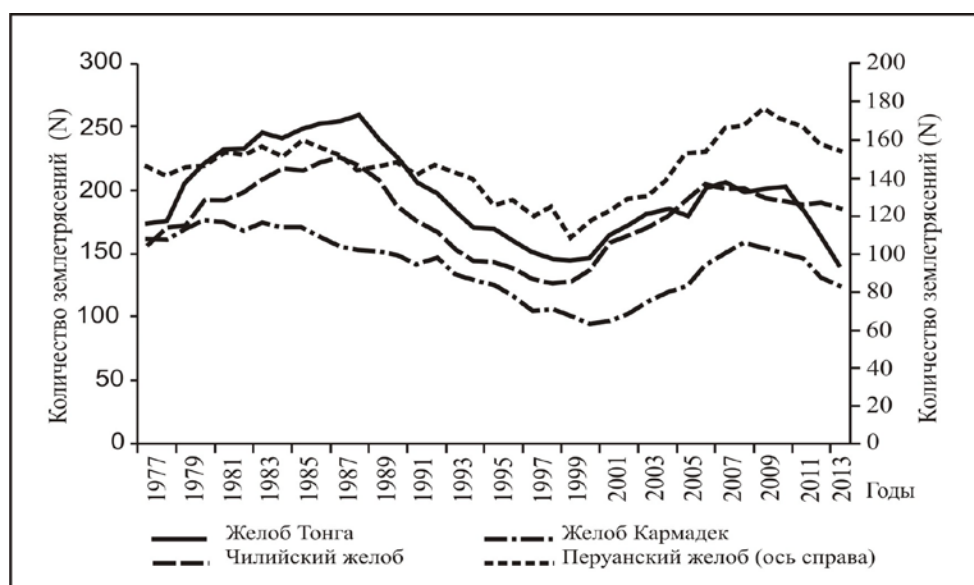


Рис. 3. Синхронное изменение количества событий с M от 4,5 вдоль сейсмоактивных зон в южной и центральной части Тихоокеанского пояса. Глубина очагов ≥ 100 км, скользящее среднее по 10 годам, сдвиг 1 год

При сопоставлении временных рядов сейсмоактивных сегментов в южной части Тихого океана выяснилось, что долговременные тенденции изменения активности землетрясений в их пределах весьма близки, и практически синхронное соответствие прослежи-

вается для временных рядов на мантийных глубинах более 100 км (рис. 3).

При перекрёстной корреляции временных рядов количества землетрясений наиболее тесное совпадение обнаружено для субдукционных окраин центральной и южной части Тихого океана, северные регионы ведут

себя относительно обособленно. Так, при близком соответствии временных вариаций внутри Курило-Камчатско-Сахалинского сегмента [2], при их сопоставлении с временным ходом землетрясений других сегментов субдукционных окраин Тихого океана близкого

соответствия не выявлено. Вместе с тем, при сопоставлении Северо-Западного сегмента в целом с Юго-Западным и Юго-Восточным согласованное изменение числа землетрясений обнаружено для событий с очагами на глубинах от 35 до 100 км (рис. 4).

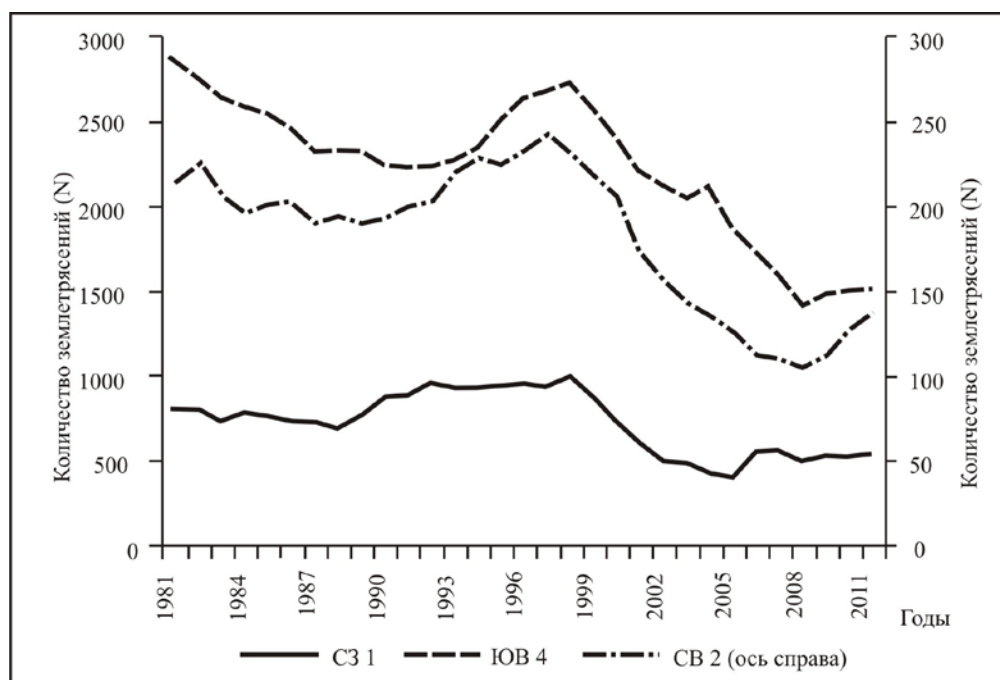


Рис. 4. Положительная корреляция временных рядов годового числа землетрясений для трех секторов Тихоокеанского активного пояса на глубинах 30–35 км со скользящим осреднением по 10 годам и сдвигом в 1 год. M от 5: СЗ 1 – северо-западный сектор; ЮВ 4 – юго-восточный сектор; СВ 2 – северо-восточный сектор [3]

Совершенно обособленно ведет себя северо-западная окраина Северо-Американского континента. В последнем случае отличия могут быть связаны с причинами как естественного, так и техногенного характера. Процесс субдукции здесь практически не выражен по сравнению с другими областями периферии Тихого океана, и сейсмичность локализована в пределах зон субширотного простираения, по-видимому, представляющих собой трансформные разломы поглощенной в ранее существовавшей зоне субдукции северной части Тихоокеанского срединно-океанического хребта. Техногенной составляющей, которая стала причиной дестабилизации естественного хода сейсмичности, является проведение подземных ядерных испытаний на полигоне Невада, одном из крупнейших ядерных полигонов США, на котором начиная с 1951 г. осуществлено 928 ядерных взрывов [9].

Таким образом, в ходе сравнительного анализа тенденций в изменении сейсмичности субдукционных окраин Тихого океана выяснилось, что наиболее близкое соответствие временных вариаций наблюдается для регионов, расположенных в приэкваториальной и южной части на противоположных окраинах Тихого океана, северные районы в силу различных причин ведут себя относительно обособленно.

Альпийско-Гималайский пояс. Альпийско-Гималайский пояс образовался в результате замыкания океана Тетис, разделявшего литосферные плиты Гондванской группы и Лавразию. Горно-складчатые сооружения пояса имеют сходную структуру и близкий состав отложений, но степень сближения отдельных литосферных плит неодинакова. Наиболее интенсивное развитие коллизионных процессов характерно для восточной части пояса, в области коллизии Индостана

и современной Северной Евразии (ИЕКО). Сближение в области коллизии реализуется за счет сжатия и скупивания горных масс, затрагивающего глубинные структуры фундамента. В зоне коллизии Северной Евразии и Аравии (АЕКО) существует несколько иной механизм перераспределения вещества с оттоком из областей максимального сжатия

в направлении геодинамических убежищ Иранского нагорья и Эгейского моря. Несмотря на различия в механизмах перераспределения горных масс из областей максимального сжатия, при анализе временных вариаций сейсмичности выявлены некоторые закономерности и черты сходства современного развития этих коллизионных областей.

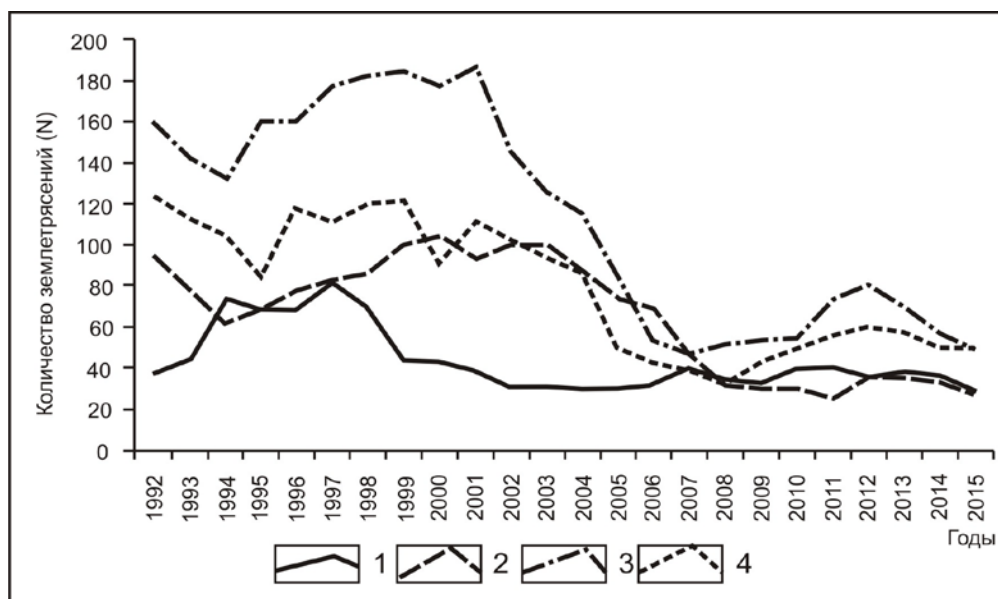


Рис. 5. Изменение активности землетрясений на флангах коллизионных зон Альпийско-Гималайского пояса на глубинах 15–40 км с 1973 по 2017 гг.

Скользящее осреднение количества землетрясений с M от 4 по 5 гг., сдвиг 1 год (по данным [6]):

1 – западный фланг области АЕКО; 2 – восточный фланг области АЕКО; 3 – западный фланг области ИЕКО; 4 – восточный фланг области АЕКО

При сопоставлении временных рядов в целом значимой корреляции не выявлено, но для рядов, соответствующих глубинным уровням средней и верхней коры и мантии, отмечена высокая согласованность событий для отдельных литосферных оболочек. Относительная независимость сейсмических событий небольших глубин в ряде регионов обусловлена высокой хрупкостью и раздробленностью верхних горизонтов коры, но в целом для них хорошо выражена тенденция к активизации сейсмичности к концу XX – началу XXI вв., возможно, связанная с увеличением техногенного влияния на геологическую среду, в частности, наличием бомбардировок.

Многие из сейсмически активных регионов АГП являлись и по-прежнему остаются территориями военных конфликтов [11].

На глубинах от 15 до 40 км наблюдается более выраженная согласованность временных вариаций для регионов, расположенных на различных флангах коллизионных областей с общим снижением активности этих глубинных горизонтов к концу рассматриваемого периода с 1973 по 2017 гг. (рис. 5, 6). Еще одной характерной особенностью изменения сейсмичности в пределах коллизионных зон АГП является противофазное изменение активности землетрясений различных уровней (см. рис. 6, 7).

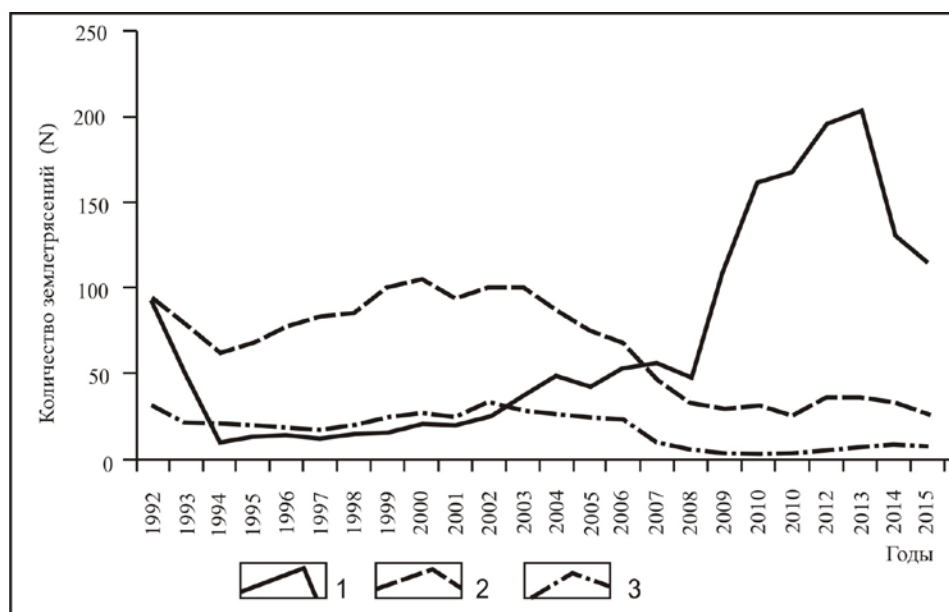


Рис. 6. Временные ряды количества землетрясений Кавказско-Загросского фланга АЕКО: для уровней глубины до 15 км (1), от 15 до 40 км (2) и от 40 до 100 км (3).
Скользящее осреднение годового числа землетрясений по пяти годам и сдвигом в один год по данным с 1973 по 2018 г. $M \geq 4,5$. На горизонтальной оси указан год середины 5-летнего интервала (по данным [10])

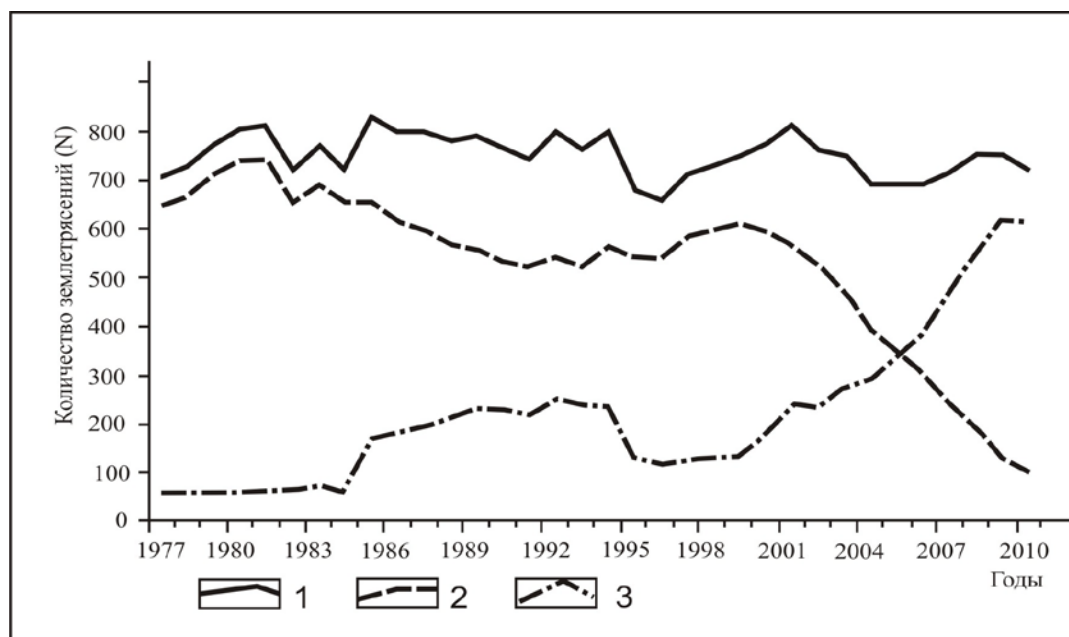


Рис. 7. Временные ряды количества землетрясений Иранского региона в целом (1) и для уровней глубины до 25 км (2) и более 25 км (3).
Скользящее осреднение годового числа землетрясений по десяти годам и сдвигом в один год по данным с 1973 по 2015 г. $M \geq 4,5$. На горизонтальной оси указан 5-й год 10-летнего интервала, коэффициент корреляции для временных рядов событий, произошедших на глубинах до и более 25 км, $Q_{23} = -0,97$ (по [5])

Байкальская рифтовая система. Байкальская рифтовая система (БРС) является структурой континентального рифтогенеза, развивающейся в обстановке растяжения и сдвига, обусловленного вращением Амур-

ской плиты по часовой стрелке. На северо-восток ее продолжает Олекмо-Становая зона разломов со сдвиговой кинематикой. Сопоставление временных вариаций сейсмичности этих крупных структур показывает их согла-

сованный характер и подтверждает наличие единого управляющего начала. При этом для землетрясений небольших глубин до 20 км намечается общий тренд к активизации к началу XXI в., обусловленный активизацией добычи углеводородов на южной периферии Восточно-Сибирской платформы [1].

Спрединговый хребет Книповича и сейсмичность Балтийского щита. Происхождение современной сейсмичности Балтийского щита долгое время оставалось предметом дискуссий. Одни исследователи полагали, что современная активность этого относительно стабильного блока литосферы связана с гля-

циоизостатическими деформациями, другие связывали ее с процессами спрединга в районе хребта Книповича – северного продолжения Срединно-Атлантического хребта. В последнее время все больше склоняются в пользу последней версии. Сравнительный анализ временных рядов, отражающих вариации сейсмичности в районе хребта Книповича и в пределах Балтийского щита, показал их противофазную корреляцию, которая свидетельствует в пользу наличия обратной взаимосвязи проявлений сейсмичности этих структур (рис. 8).

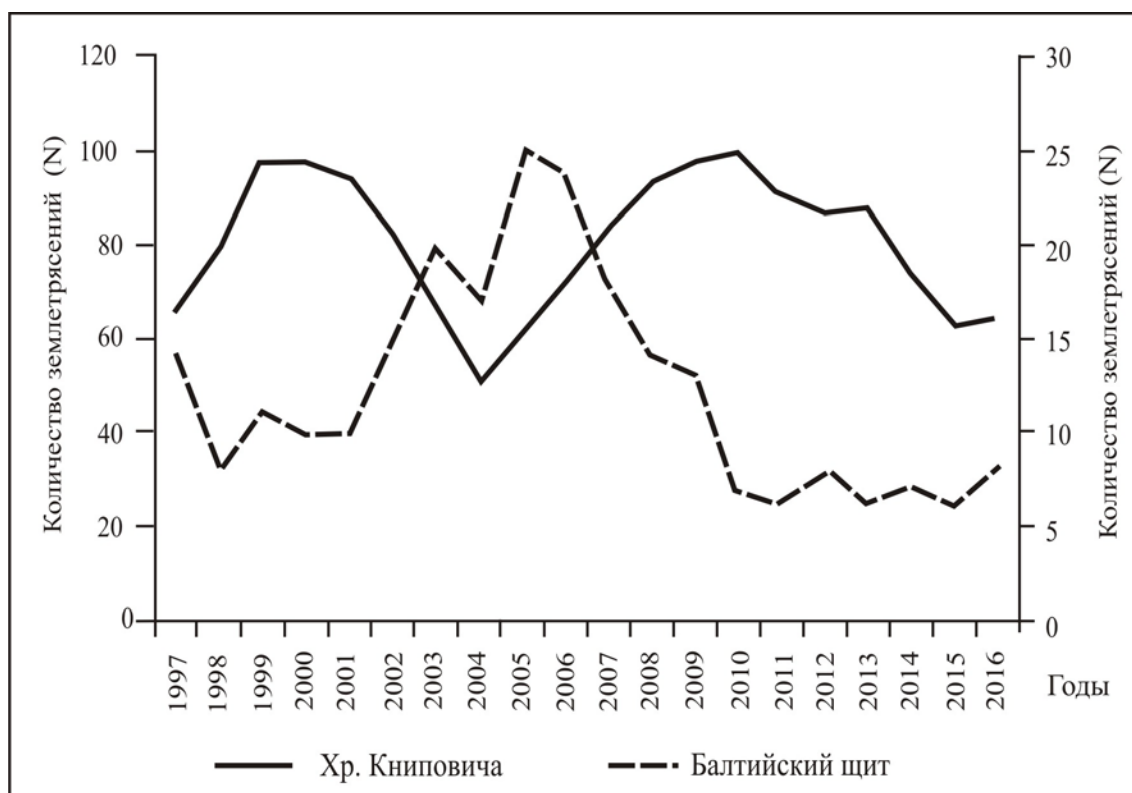


Рис. 8. Временные ряды количества землетрясений хребта Книповича и Балтийского щита. Скользящее осреднение годового числа землетрясений по пяти годам и сдвиг в один год по данным с 1995 по 2018 гг. На горизонтальной оси отмечены годы середины 5-летнего интервала. Минимальная магнитуда выборки для хр. Книповича $M_{\min} \geq 4,5$, для Балтийского щита $M_{\min} \geq 3$ (ось справа). Коэффициент корреляции временных рядов $Q = -0,41$

Выводы

На основе анализа временных вариаций сейсмичности в пределах основных мегаструктур Земли выявлен ряд общих особенностей, характерных для различных геодинамических обстановок. Отмечена согласованность в изменении числа землетрясений смежных горизонтов литосферы на одинаковых глу-

бинных уровнях, в особенности очевидная для глубокофокусных событий. Для большинства исследованных регионов обнаружена противофазность для вариаций активности землетрясений верхней коры и более глубоких горизонтов. Важной особенностью является также, в основном, согласованное синфазное или противофазное изменение сейсмичности для регионов, в современном геодинамиче-

ском развитии которых доминирует единый процесс, будь то обстановка коллизии, субдукции, рифтогенеза или спрединга. По-видимому, долговременные вариации сейсмичности следует рассматривать как результат влияния этого управляющего процесса и по ним оценивать ослабление или усиление его интенсивности, а также с помощью парной корреляции выявлять динамически взаимосвязанные регионы.

Общей особенностью для временных рядов землетрясений верхней коры в различных регионах Земли является их тренд на увеличение активности, который связан, очевидно, с тотальным ростом масштабов и интенсивности техногенных воздействий в сейсмоактивных областях. Установлено, что верхнекоровые, нижнекоровые и мантийные землетрясения в различных геодинамических обстановках чаще всего ведут себя относительно обособленно или противофазно по отношению к соседним активным уровням и, в то же время, в большинстве случаев выступают согласованно по латерали. Близкое совпадение временных вариаций для определенных уровней позволяет говорить о согласованном автономном развитии отдельных оболочек литосферы, которое объясняется, возможно, различиями вещественного состава и физико-механических свойств отдельных геосфер, а также особенностями их реакции на внешние природные и техногенные воздействия.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Архипова, Е. В. Сейсмичность как индикатор системного геодинамического взаимодействия тектонических структур литосферы / Е.В. Архипова, О.В. Анисимова, А.Д. Жигалин, И.С. Гусева // Глубинное строение, минерагения, современная геодинамика и сейсмичность Восточно-Европейской платформы и сопредельных регионов [Текст]: материалы Всероссийской конференции с международным участием (г. Воронеж – 25–30 сентября 2016 г.) / под ред. Н.М. Чернышова, Л.И. Надежка. – Воронеж : Издательско-полиграфический центр «Научная книга», 2016. – С. 59–62.
2. Архипова, Е. В. Временные вариации сейсмичности как индикатор системного сейсмогеодинамического развития регионов Восточной Сибири и Дальнего Востока / Е.В. Архипова, А.Д. Жигалин, И.С. Гусева // Вестник Международного университета природы, общества и человека «Дубна». – 2016. – № 1 (33). – С. 3–11
3. Архипова, Е. В. Современный сейсмогеодинамический режим островодужной окраины Тихого океана / Е.В. Архипова, А.Д. Жигалин, И.С. Гусева // Тектоника современных и древних океанов и их окраин. Материалы XLIX Тектонического совещания, посвященного 100-летию академика Ю.М. Пушаровского. – Москва : ГЕОС, 2017. – С. 22–28.
4. Горькавый, Н. Н. О глобальной составляющей сейсмического процесса и ее связи с наблюдаемыми особенностями вращения Земли / Н.Н. Горькавый, Ю.А. Трапезников, А.М. Фридман // Докл. АН. 1994. – Т. 338, № 4. – С. 525–527.
5. Короновский, Н. В. Структурно-геоморфологический анализ и сейсмичность Иранского региона / Н.В. Короновский, Г.В. Брянцева, Е.В. Архипова, О.В. Анисимова // Бюлл. МОИП. Отд. геол. – 2017. – Т. 92, № 3. – С. 12–22.
6. Короновский, Н. В. Структурно-геоморфологический анализ и сейсмичность Афганского региона / Н.В. Короновский, Г.В. Брянцева, Е.В. Архипова, О.В. Анисимова // Бюлл. МОИП. Отд. геол. – 2017. – Т. 92, № 2. – С. 21–31.
7. Миронов, А. П. Деформационные процессы в литосфере, сильнейшие землетрясения и глобальная геодинамика Земли / А.П. Миронов, Л.А. Латынина, В.К. Милоков. – URL: <http://lnfm1.sai.msu.ru/grav/russian/life/chteniya/sagit2009/mirinov.pdf> (дата обращения: 16.03.2019).
8. Моги, К. Предсказание землетрясений / К. Моги. – Москва : Мир, 1988. – 382 с.
9. United States Nuclear Tests; July 1945 through September 1992. DOE/NV--209-REV 16, September 2015. – 129 с.
10. Earthquake Data Base United States Geological Survey. – URL: <http://earthquake.usgs.gov> (дата обращения: 09.01.2019).
11. Nikolaev, A. V. The effect of Mass Bombing Attacks on Seismicity / A.V. Nikolaev, E.V. Arkhipova, A.D. Zhigalin, L.I. Morozova // European Seismological Commission 33rd General Assembly 19–24 August 2012, Moscow, Russia. Oral presentation, Program of Assembly. – P. 59.

Поступила в редакцию
19.07.2019

УДК 543.632.9

Б. К. Зуев, Е. С. Пеункова, И. Н. Фадейкина, С. В. Моржухина**Метод окситермографии для исследования распределения органического вещества и трансдермальных свойств поверхности кожи лица**

Рассматривается возможность применения метода окситермографии в косметологии с целью количественного описания распределения органических веществ на поверхности кожи лица человека. Экспериментально оценено суммарное содержание органических веществ на поверхности кожи лица в 15 точках. Рассмотрены трансдермальные свойства поверхности кожи при проникновении косметических активов на примере гиалуроновой кислоты.

Ключевые слова: окситермография, термоокислительный спектр, жирность кожи, гиалуроновая кислота, высокотемпературное окисление, количественное определение органического вещества

Об авторах

Зуев Борис Константинович – доктор технических наук, профессор кафедры химии, новых технологий и материалов государственного университета «Дубна». E-mail: zubor127@yandex.ru. 141980 Московская обл., г. Дубна, ул. Университетская, 19.

Пеункова Елена Станиславовна – магистрант кафедры химии, новых технологий и материалов государственного университета «Дубна».

Фадейкина Ирина Николаевна – кандидат технических наук, доцент кафедры химии, новых технологий и материалов государственного университета «Дубна».

Моржухина Светлана Владимировна – кандидат химических наук, доцент, заведующий кафедрой химии, новых технологий и материалов государственного университета «Дубна».

Комбинированное исследование состояния кожных покровов или отдельных показателей состояния кожи представляется важным во многих направлениях медицины и косметологии. Наибольший интерес вызывают такие параметры, как pH, жирность, увлажненность (сухость), пигментация, механические свойства, микроциркуляция и исследование внутренних структур кожи. Как правило, известные приборные системы функциональной диагностики являются дорогостоящими и предполагают использование дополнительных реагентов и расходных материалов. В работе рассматривается вариант нового безреагентного метода, который позволяет не только

количественно определять параметры жирности (липотип) кожи, но и исследовать особенности процесса переноса компонентов косметических средств во внутренние слои эпидермиса (трансдермальные свойства).

Выбор того или иного косметического средства для ухода за кожей и само состояние кожи человека зависит от ее типа. Качественные и количественные показатели состояния кожи приведены в табл. 1 и 2 [1; 4]. Необходимо учитывать неоднородное распределение типологии кожи в зависимости от строения кожного покрова, а следовательно, распределение органического вещества на теле и лице человека существенно не равномерно.

Таблица 1. Качественное определение типа кожи по внешним признакам

Нормальная	Сухая	Жирная	Комбинированная
Равномерно окрашена, гладкая, упругая, чистая и свежая. Лишена таких недостатков, как поры, угри, расширенные со- суды и т.п.	Встречается часто и требует умелого и внимательного ухода, т.к. очень чувствительна к неблагоприятным воздействиям и быстро стареет	Выглядит толстой, грубой, блестит. Иногда она по виду напоминает апельсиновую корку. Жирная кожа встречается чаще в молодости	Чаще всего встречается распределение, при котором кожа жирная в районе лба, носа, подбородка. Вместе с этим на висках, щеках и шее и особенно вокруг глаз кожа сухая

Таблица 2. Определение параметров жирности кожи и ее типа стандартным методом себуметрии

Тип кожи по данным себуметрии (липотип)	Количественный показатель
Сухая кожа	$< 90 \text{ мкг/см}^2$
Нормальная кожа	$90\text{--}220 \text{ мкг/см}^2$
Жирная кожа	$>220 \text{ мкг/см}^2$

Появление и внедрение новых активных компонентов требует постоянного исследования их свойств, знания эффективной концентрации на поверхности кожи и их действия на кожу человека. Для этого требуется развитие новых методов обнаружения таких сложных компонентов, как гиалуроновая кислота, пептиды, витамины и т.п., а также разработка способов измерения их концентрации и изучения особенностей проникновения данных активов в кожу.

Метод окситермографии позволяет быстро, качественно, а главное, количественно определить суммарное содержание органического вещества, распределенного на коже человека, с последующим определением типа кожи.

Метод окситермографии

Метод основан на высокотемпературном окислении органического вещества в потоке газа и количественном определении мо-

лекулярного кислорода (в составе газового потока), затраченного на это окисление (принципиальная схема прибора представлена на рис. 1). Результаты анализа получают в виде окситермограммы – зависимости изменения содержания кислорода в потоке газа, выходящего из реактора, от времени или температуры образца в ходе его окисления [1–3]. Эти окситермограммы являются характерными для органических и других окисляемых кислородом воздуха веществ. Ключевой параметр – площадь пика под кривой – характеризует суммарное количество кислорода, пошедшее на окисление, выраженное в единицах термического потребления кислорода ($\text{мгO}_2/\text{см}^2$), которое эквивалентно $C_{\text{орг}}$ в пробе и соответствует общему содержанию веществ, находящихся на поверхности кожи.

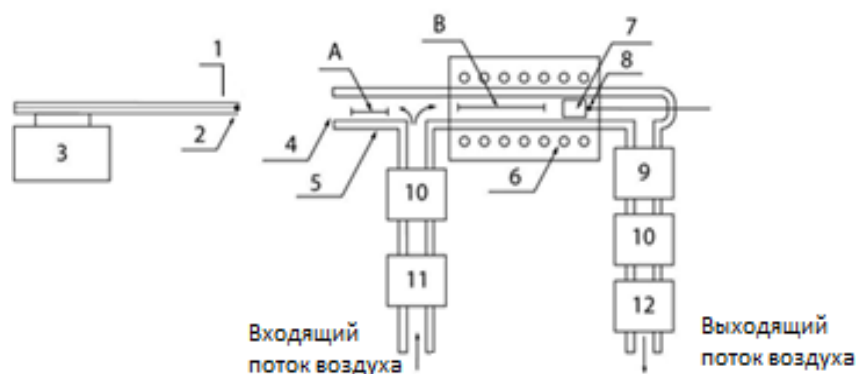


Рис. 1. Принципиальная схема установки окситермографа:

1 – кварцевая палочка; 2 – термопара для контроля температуры палочки; 3 – механизм перемещения палочки по программе «Профиль движения»; 4 – входное отверстие высокотемпературного реактора; 5 – реактор – кварцевая трубка с отрезком; 6 – высокотемпературная печь для нагрева реактора; 7 – катализатор; 8 – термопара для контроля температуры в реакторе; 9 – датчик кислорода; 10 – ротаметр; 11 – газовый компрессор; 12 – побудитель газового потока [2]

Для градуировки окситермографа использовали водный раствор салициловой кислоты. В работе [3] показано, что термоокислительный спектр данного вещества аналогичен спектру веществ на поверхности кожи. Полученный градуировочный график (рис. 2) поз-

воляет найти зависимость между количеством кислорода, потраченного на окисление и определяемого по площади пика окситермограммы, и количеством органического вещества, отобранного с поверхности кожи ($\text{мгO}_2/\text{см}^2$).

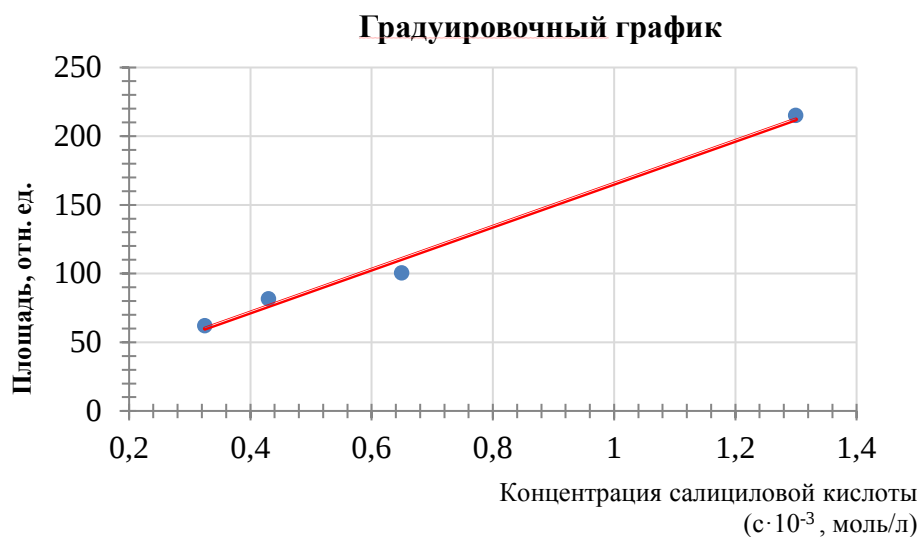


Рис. 2. Градуировочный график для определения концентрации суммарного содержания органического вещества на поверхности кожи по салициловой кислоте методом окситермографии. Рассчитанный коэффициент детерминации $R^2 = 0.9899$, что говорит о хорошем соответствии выбранной линейной регрессионной модели и полученных данных.

Экспериментальная часть

Для исследования пробы отбирались в 15 точках с поверхности кожи лица кварцевым пробоотборником с шероховатой торцевой частью. Методика пробоотбора описана в работе [2]. Точки пробоотбора показаны на рис. 3.



Рис. 3. Точки пробоотбора

Особое внимание было уделено методике пробоотбора. Усилие, с которым прикладывается кварцевый пробоотборник, может оказать значительное влияние на количество перенесенного органического вещества и, соответственно, повлиять на результат исследований.

Была проведена серия экспериментов для выявления влияния данного фактора на определение жирности кожи. Установка, с помощью которой проводились исследования, показана на рис. 4. Полученные результаты представлены в табл. 3

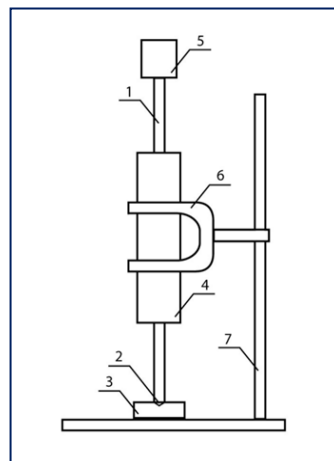


Рис. 4. Схема установки для изучения влияния силы нажатия на перенос органического вещества с поверхности:

- 1 – пробоотборник в виде кварцевой трубочки с торцевой шероховатой поверхностью на торце;
- 2 – место контакта шероховатой поверхности пробоотборника с упругой поверхностью анализируемого тела; 3 – упругое твердое тело;
- 4 – вертикальное направляющее устройство;
- 5 – груз, создающий контролируемое давление на поверхность анализируемого тела; 6 – держатель направляющего устройства; 7 – штатив

Таблица 3. Влияние величины давления пробоотборника на определение площади пика ($S_{орг.}$) для окситермограммы перенесенного органического вещества

Вес нажатия, г	Давление, Н/м ²	$S_{орг.}$, отн.ед
121	6.1×10^{-6}	1049±4
101	5.1×10^{-6}	1049±4
92	4.6×10^{-6}	993±4
72	3.6×10^{-6}	993±4
60	3.0×10^{-6}	995±8
40	2.0×10^{-6}	995±8
20	1.0×10^{-6}	895±3

На основе полученных данных для проверки гипотезы влияния приложенного усилия на пробоотбор органического вещества с поверхности кожи был проведен однофакторный дисперсионный анализ стандартным пакетом *MS Excel*.

Для уровня значимости $\alpha = 0,05$ соотношение $F_{расч}(0,036) \ll F_{кр}(2,84)$ показывает, что воздействие рассматриваемого фактора на полученные данные несущественно. Таким образом, дисперсия полученных данных не зависит от приложенного в данном диапазоне давления и носит случайный характер.

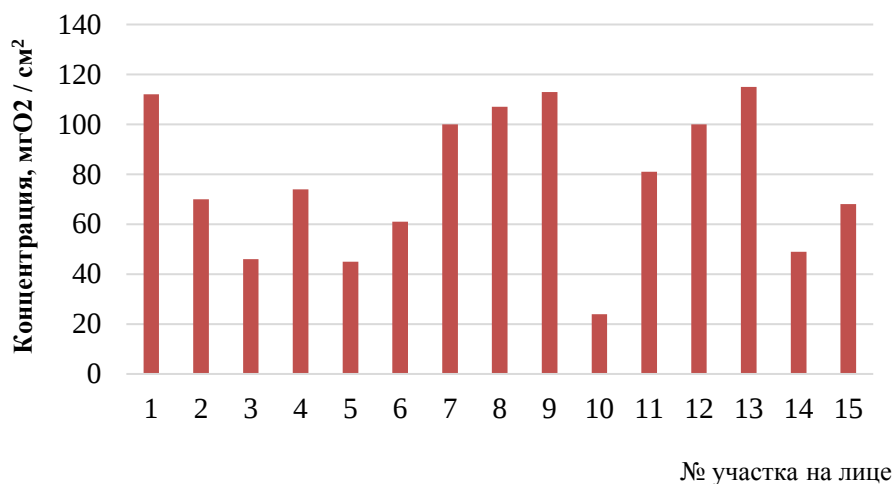


Рис. 5. Распределение органического вещества на коже лица методом окситермографии

Проведенный эксперимент по определению жирности кожи показывает, что распределение органического вещества на лице неоднородно и хорошо согласуется с известными данными о проблемных зонах кожи лица. Из рис. 5 видно, что минимальная концентрация органического вещества на поверхности кожи обнаружена при переходе лицо–шея и составляет 24 мгО₂/см² (сухая кожа (менее 87)), тогда как максимальное значение больше практически в 5 раз (115 мгО₂/см² – нормальная кожа (87–127)) было достигнуто при отборе вещества с надбровной дуги.

Трансдермальные свойства кожи – один из главных вопросов в косметологии и дерматологии. Изучение процессов переноса веществ, например косметических активов и вспомогательных веществ, позволит определять нормы ввода компонентов в рецептуру косметического средства, механизмы воздействия и многое другое (рис. 6). Один из подходов, с помощью которого можно ответить на вопрос о переносе компонентов, – разработка метода, позволяющего быстро и точно контролировать наличие исследуемого вещества на поверхности кожи человека во времени.

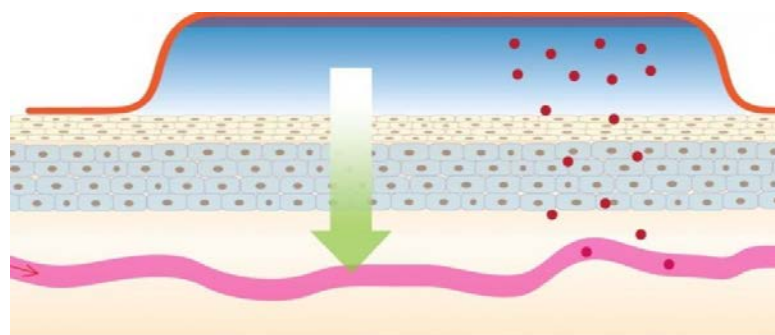


Рис. 6. Трансдермальная система доставки косметических активов [6]

Следующий этап работы – исследование процесса переноса гиалуроновой кислоты с поверхности кожи во внутренние слои, основанного на получении кинетической зависимости изменения концентрации гиалуроновой кислоты в процессе контакта с кожей [5].

Полученная зависимость представлена на рис. 7. Для нанесения использовался 1% масс. водный раствор гиалуроновой кислоты, косметический актив наносился на предварительно обезжиренную кожу.

Рис. 7. Кинетическая зависимость изменения концентрации гиалуроновой кислоты (ГК) на поверхности кожи по определенной площади пика ($S_{ГК}$) на окситермограмме с течением времени

Как видно из приведенной зависимости, в процессе переноса косметического актива наблюдается формирование «пленки» на поверхности кожи, определяемая концентрация гиалуроновой кислоты перестает изменяться примерно через 7 минут.

Выводы

Окситермография может быть использована для определения жирности кожи, метод является простым, экспрессным и безреаген-

тым. Установлено, что кварцевый пробоотборник переносит эквивалентное количество органического вещества с упругой поверхности, данный способ можно использовать в широком диапазоне прикладываемых усилий, на получаемый результат этот фактор не оказывает значимого влияния. Предлагаемый метод пробоотбора в сочетании с методом окситермографии может быть использо-

ван для изучения трансдермальных свойств кожи.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №17-03-008544.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Зуев, Б. К. Определение гиалуроновой кислоты в водных растворах с использованием воздуха в качестве окислителя / Б.К. Зуев, В.Г. Филоненко, Д.С. Нестерович, П.Д. Поликарпова // Журн. аналит. химии. – 2018. – Т. 73, № 10. – С. 763.
2. Зуев, Б. К. Пробоотбор и определение гиалуроновой кислоты на упругой поверхности твердого тела (имитатор кожи человека) методом окситермографии / Б.К. Зуев, П.Д. Поликарпова, В.Г. Филоненко [и др.] // Журн. аналит. химии. – 2019. – Т. 74, № 3.
3. Пеункова, Е. С. Изучение распределения органических веществ на поверхности лица методом окситермографии / Е.С. Пеункова, Б.К. Зуев, С.В. Моржухина // Семьдесят первая всероссийская научно-техническая конференция студентов, магистрантов и аспирантов высших учебных заведений с международным участием : сборник материалов конференции. Ч. 1. Электронное издание. – Ярославль : Издательский дом ЯГТУ, 2018. – С. 253.
4. Карагадян А.Д. Аутологичная богатая тромбоцитами плазма в коррекции инволюционных изменений кожи : автореф. дис. на соиск. степ. к.мед.н. – М., 2018. – 20 с.
5. Михайлова Н.П. Влияние интрадермального введения модифицированной гиалуроновой кислоты на морфофункциональное состояние кожи у пациенток с инволюционными изменениями // Вестник дерматологии и венерологии. – 2013. – № 5. – С. 152–159.
6. Трансдермальные системы. – URL: http://cosmetic.ua/transdermalnie_sistemi_zastavlyayut_kosmetiku_rabotat (режим доступа: свободный. Дата обращения: 10.11.2018).

*Поступила в редакцию
19.07.2019*

УДК 543.2:582.32:574

Н. М. Омарова, А. К. Ташенов, М. У. Нуркасымова, А. К. Кокораева**Исследование состава мха – естественного биоиндикатора для мониторинга воздуха Восточно-Казахстанской области**

Приведены результаты определения химического состава мха Восточно-Казахстанской области (ВКО). Проведены следующие этапы исследования: заготовка растительного сырья; методика взятия пробы исследуемого материала для анализа; определение концентрации элементов методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ИСП-МС). Разработаны способы сухого и мокрого озоления биоиндикатора. Сопоставлены результаты анализа мха, полученные методом ИСП-МС и методом инструментального нейтронного активационного анализа (ИНАА). Определена достоверность результатов анализа методом добавок и фотометрическим определением концентрации элементов.

Ключевые слова: мох-биоиндикатор, тяжелые металлы, Восточно-Казахстанская область, метод масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ИСП-МС), стандартные образцы, метод микроволнового разложения, сухое и мокрое озоление

Об авторах

Омарова Нурия Молдагалиевна – доцент кафедры химии Евразийского национального университета им. Л.Н. Гумилева. E-mail: omarova_nuriya@mail.ru. г. Астана, ул. Сатпаева 2.

Ташенов Ауезхан Карипханович – заведующий кафедрой химии, профессор Евразийского национального университета им. Л.Н. Гумилева.

Нуркасымова Махаббат Улановна – докторант Евразийского национального университета им. Л.Н. Гумилева.

Кокораева Айжуз Кокораевна – докторант Евразийского национального университета им. Л.Н. Гумилева.

Промышленное загрязнение природной среды (воздуха) в зонах влияния крупных предприятий является в настоящее время серьезной экологической проблемой. Наиболее сильным и распространенным загрязнением является контаминация тяжелыми металлами. Техногенные источники тяжелых металлов многочисленны и разнообразны. Их особенностью является способность к формированию участков загрязнения с высокими концентрациями токсикантов. Наиболее крупными поставщиками тяжелых металлов являются химические предприятия, автотранспорт, бытовые котельные.

По мнению специалистов, загрязнение атмосферы – наиболее опасная форма загрязнения. Атмосферный воздух имеет неограниченную емкость и играет роль наиболее подвижного, химически агрессивного агента взаимодействия вблизи поверхности компонентов биосферы, гидросферы и литосферы. Атмосфера оказывает интенсивное воздействие не только на живой организм, но и на

гидросферу, почвенно-растительный покров, геологическую среду. Поэтому мониторинг и прогнозирование изменений атмосферного воздуха является все более актуальной проблемой с течением времени.

Воздух является весьма подвижной средой, и применение химических методов исследования его состава для решения задач мониторинга нерационально, т.к. требует либо установки большого количества автоматических станций, либо постоянного отбора проб с большой частотой (не менее 6 раз в сутки) по всей территории зоны защитных мероприятий (ЗЗМ).

Наилучшим способом решения этой проблемы является использование биологических индикаторов – аккумуляторов атмосферных выпадений. К таким биологическим объектам относится мох. Благодаря высокоразвитой поверхности моховой покров является хорошим сорбентом, а низкий уровень метаболизма способствует накоплению в биомассе многих веществ, в том числе тяжелых металлов. Вероятно, это связано с отсутствием у мхов высокоспециализированных покровных тканей и неспособностью большинства мохообразных ежегодно обновлять свой фото-

синтезирующий аппарат, подобно тому, как делают это цветковые растения, сбрасывая листву осенью. Возможно, также острота реакции мхов связана с небольшой массой их тела. Мхи не имеют корневой системы, и, следовательно, вклад других источников, кроме атмосферных выпадений, в большинстве случаев органичен. Применяя современные методы химического анализа, можно установить элементный состав атмосферных выпадений в месте сбора и количественно определить концентрацию того или иного химического вещества, накопленного мхом за определенный период времени. Использование мхов в качестве индикаторов атмосферного загрязнения имеет существенные преимущества перед традиционными методами, поскольку сбор образцов несложен, не требует дорогостоящей аппаратуры для пробоотбора воздуха и осадков; процесс сбора, транспортировка и хранение мха менее трудоемки.

В связи с тем, что формирование мохового покрова происходит в течение 2–5 лет, анализ биомассы может дать оценку уровня загрязнения атмосферы на различных участках изучаемой территории за этот период [1–3].

Процесс контроля безопасности природной среды – одна из важнейших задач человечества. Антропогенное влияние на природную среду является огромной, т.к. по мощности ее можно сравнить с естественными процессами геологии, и оно ежедневно возрастает на уровне научно-технического прогресса. Эти воздействия весьма значительны на территориях размещения больших городов, а также больших промышленных предприятий из-за накопления большого количества отходов, содержащих загрязняющие вещества, и на землях интенсивного сельскохозяйственного пользования при широком применении средств химизации в связи с внесением в почву несбалансированных чисел неодинаковых химических поллютантов, в том числе и чуждых природе.

Контроль и управление – это два важнейших вида деятельности охраны природной среды от негативного влияния человека. Выполнение одной из них, т.е. процесс организации в постоянном режиме наблюдения за благополучием природной среды должен обеспечить мониторинг.

Вредные последствия от влияния тяжелых металлов и радионуклидов на природную среду могут быть проявлены не сразу, т.к. большинству из них свойствен процесс аккумуляции.

Повышение показателей концентраций таких химических элементов в грунтовых водах, почвах может привести к замедлению роста сельскохозяйственных культур, деревьев. Аккумуляция таких элементов в живых системах практически приводит к негативному влиянию на здоровье последующих поколений. Это говорит о том, что необходимо проводить мониторинг воздушных выпадений элементов-поллютантов.

Приблизительно начиная с семидесятых годов предыдущего столетия в Западной части Европы с целью исследования атмосферных выпадений тяжелых металлов и радионуклидов применяется общая методика, которая была предложена учёными Скандинавии. Этот метод называется методом мхов-биомониторов, в котором для анализа используются виды мхов, распространенные в широком диапазоне на территориях, имеющих умеренный климат. Данные растения имеют отличительные особенности в своих строениях, поэтому обладают способностью превосходно аккумулировать следовые элементы из некоторых осадков и атмосферы. Различные виды мхов играют роль аналогов аэрозольных фильтров. По этой причине они представляют собой уникальные живые системы, т.к. их многоэлементный состав отлично показывает состояние воздуха. Они обладают широким распространением, а также отбор проб мхов является доступным и лёгким, что объясняет их универсальность в качестве объектов для изучения. Поскольку многоэлементный нейтронно-активационный анализ является самым подходящим аналитическим инструментом для решения поставленных задач работы, он был избран как основной метод анализа.

С середины девяностых годов двадцатого столетия в Объединенном институте ядерных исследований (ОИЯИ) по программе Европейской комиссии по экологии, функционирующей благодаря ООН по атмосфере Европы «Атмосферные выпадения тяжелых металлов – оценки на основе анализа мхов-биомониторов», осуществляемой в пределах программы ООН о дальнем трансграничном переносе загрязнения атмосферы на дальние расстояния, проводятся исследования в некоторых регионах Российской Федерации, странах-участницах и неучастницах ОИЯИ.

Двадцать девятого января 2014 г. в Париж на двадцать седьмой сессии группы с определенной целью по растительным орга-

низмам была проведена церемония передачи обязанностей центра координации «Международной программы биомониторинга и оценки влияния поллютантов атмосферы на растительные организмы» от Англии к Российской Федерации, точнее в ОИЯИ. Внимание акцентировалось на том, что программа ООН по дальнему трансграничному переносу воздушных масс очень заинтересована в расширении его на такие кавказские страны, как Азербайджан, Армения, Грузия, кроме того на Республику Казахстан и страны Центральной Азии в дальнейшем.

Резкое возрастание промышленного производства, которое наблюдается последние годы, выявляет увеличение уровня техногенного воздействия на природные компоненты, тем более на здоровье людей. Исследование атмосферных выпадений тяжелых металлов и радионуклидов представляет собой одну из самых важных задач по охране природной среды, и этому направлению уже более сорока лет прилагаются усилия различных сообществ учёных в многочисленных странах мира [1–3]. Для процесса контроля качественного состава атмосферного воздуха сначала необходим элементарный анализ содержания аэрозольных частиц и выявление в этих же аэрозолях уровня химических элементов, признанных опасными для животных и растительных организмов.

Экологическая ситуация в Восточно-Казахстанской и Павлодарской области является кризисной. Увеличение числа промышленных предприятий, плачевные последствия полигона в регионе Семипалатинска, с проведением различных ядерных испытаний, объясняет большинство нежелательных загрязнений воды и почв, воздуха, в том числе нарушение водного режима. Все эти виды деятельности человека являются серьёзной проблемой, которая требует активного и немедленного вмешательства как на административном, так и на научно-исследовательском уровне.

Метод мхов-биомониторов с целью решения конкретных задач по экологии был применён в первый раз для выявления атмосферных выпадений тяжелых металлов и радионуклидов на территории Прииртышья Республики Казахстан, которая отличается весьма высоким уровнем загрязнения воздуха. Павлодарская и Восточно-Казахстанская области, в силу сложившегося на сегодняшний день социального и экономического развития, —

одни из наиболее неблагоприятных регионов Казахстана по состоянию природной среды. Усть-Каменогорск — один из загрязнённых городов республики, который является уникальной урбанизированной системой, перенасыщенной промышленными предприятиями разнообразной антропогенной ориентации. Существование немалого количества промышленных предприятий и высокая степень радиации обуславливают актуальность данных исследований.

Целью настоящей работы является количественное определение концентрации тяжелых металлов в образцах мхов и возможности использования их в качестве биоиндикаторов при мониторинге экологического состояния Восточно-Казахстанской области Казахстана.

Экспериментальная часть по отбору проб, их подготовке к анализу и результаты

В соответствии с общепринятой международной методикой [3] были собраны 30 проб мхов летом 2014–2015 гг., 28 проб — осенью и летом 2015–2016 гг. и 30 проб осенью и летом 2017 г.

Точки пробоотбора были выбраны на открытых местах вдали от деревьев, жилых объектов, крупных дорог, населённых пунктов. Радиус зоны обследования составил около 10 км. При сборе мха были использованы перчатки и полиэтиленовые пакеты. Масса сырого мха с каждой точки составляла не менее 3 кг. Пробы сортировались для исключения попадания посторонних растений и включений и усреднялись.

Растительный материал — мох после удаления инородных растительных материалов был высушен до воздушно-сухого состояния при комнатной температуре, а затем до постоянной массы в сушильном шкафу при температуре 30 °С в течение 48 часов. Образцы мха не промывались. Была подготовлена средняя проба, которая хранилась в банках с притертой пробкой [4].

Индуктивно связанная плазма, поддерживаемая в специальной горелке, возбуждает ионы из атомов вводимого образца. Далее ионы фокусируются ионно-оптической системой и попадают в анализатор масс-спектрометра *Varian ICP-MS-820*. Ионный поток затем попадает в детектор для количественной регистрации.

Данный метод определяет концентрации элементов на уровне от сотых долей нано-

граммов до сотен миллиграммов на литр ($1 \cdot 10^{-12}$ – $1 \cdot 10^{-20}$ %). Достижимые пределы обнаружения, высокая чувствительность и избирательность метода ИСП-МС позволяет количественно определять в пробах растительного происхождения до 40–50 элементов в течение 2–3 минут (без учета времени пробоподготовки) [5].

Атомно-эмиссионная спектроскопия с индуктивно-связанной плазмой основана на применении индуктивно-связанной плазмы в качестве источника получения ионов, а также встроенного спектрометра с целью их разделения и детектирования. Атомно-эмиссионная спектроскопия с индуктивно-связанной плазмой также делает возможным производить изотопный анализ определённых ионов. В данном исследовании этот метод использовался для определения меди, свинца, кадмия, серебра, цинка, кобальта, никеля, марганца, хрома, а также для сопоставления результатов анализа методами многоэлементного нейтронно-активационного анализа и атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой.

Индуктивно-связанная плазма является газом, который содержит существенные содержания электронов и ионов, благодаря чему обладает способностью электропроводности. Плазма, которая применяется в электрохимических испытаниях, почти электронейтральна, т.к. отрицательный заряд свободных электронов компенсируется положительным ионным зарядом. В такой плазме количество ионов с зарядом минус довольно невелико, а ионы с зарядом плюс в основном являются однозарядными. Соответственно, в любом объёме плазмы количество электронов и ионов приблизительно одинаковое.

В спектроскопии индуктивно-связанная плазма поддерживается в горелке, в состав которой входят 3 концентрические трубки. Такие трубки часто изготавливаются из кварца. Через катушку индуктивности, внутри которой находится конец горелки, протекает радиочастотное электричество. Поток газа, обычно от 26 до 34 л/мин, продувается между двумя внешними трубками. На короткий промежуток времени пропускается электрическая искра, чтобы образовались свободные электроны в потоке аргона. Образовавшиеся свободные электроны взаимодействуют с магнитным полем (радиочастотным) катушки. Ускоренные электроны сталкиваются с ато-

мами газа аргона, вследствие чего иногда атомы газа теряют один из своих электронов, который сразу же после образования тоже начинает ускоряться в меняющемся магнитном поле. Этот процесс протекает до того момента, пока рекомбинация электронов с ионами газа не компенсируется количеством вновь образовавшихся электронов. В итоге появляется среда, которая в основном состоит из атомов газа с весьма небольшой концентрацией ионов газа аргона и свободных электронов. Температура образовавшейся плазмы достигает десяти тысяч градусов Кельвина.

Индуктивно-связанная плазма может удерживаться внутри горелки, т.к. поток аргона, который находится между двумя внешними трубками, служит для удерживания данной плазмы подальше от стенок горелки. А второй поток газа, примерно один л/мин, часто пропускается между средней и центральной трубками, который служит для удерживания плазмы подальше от конца центральной трубы. Третий поток газа, тоже примерно один л/мин, подаётся через внутреннюю часть центральной трубы, который проходит через плазму. При этом он формирует канал более холодный в сравнении с окружающей плазмой, однако все ещё значительно горячее в сравнении с химическим пламенем. Образец, на котором проводится анализ, помещают в центральный канал, часто в виде аэрозоля, который получают во время пропускания жидкости сквозь распылитель.

Поскольку частицы распыляемого образца попадают в центральный канал индуктивно-связанной плазмы, они испаряются, также, как и частицы, которые были прежде растворены в нём, а затем распадаются на атомы. При такой температуре существенное число атомов многих элементов ионизуется и переходит в состояние однозарядного иона.

Полученную пробу измельчали, взвешивали и помещали в фарфоровые тигли с крышками и озоляли в муфельной печи в течение 6–7 часов при температуре 400–450 °С.

Для приготовления аналитических образцов применяли метод микроволнового разложения. Метод основан на минерализации проб растений в герметично замкнутом объёме аналитического автоклава при воздействии повышенной температуры и давления.

Навеску пробы (около 2 г) помещали во фторопластовую реакционную ёмкость, приливали последовательно по 5 мл азотной

кислоты. Автоклав герметизировали и помещали в микроволновую печь и разлагали пробу, используя программу разложения, рекомендованную производителем печи. Полученный раствор переносили во фторопластовый стакан (объем 50 мл), помещали на электрическую плитку и выпаривали до влажных солей. Затем во влажные соли приливали 2 мл концентрированной серной кислоты, нагревали до растворения осадка, далее охлаждали до комнатной температуры и количественно переносили в мерную полиэтиленовую пробирку (объемом 25–30 мл). Промывали стакан 10–15 мл бидистиллированной водой и доводили до объема 20 мл. Те же операции проводили с холостой пробой. Для измерения методом ИСП-МС полученный раствор разбавляли в 10 раз.

Для сведения к минимуму уровня лабораторного фона все операции по подготовке образцов к измерениям и сами измерения проводили в чистом помещении, в котором не скапливается пыль. Для анализа низких концентраций загрязнения из окружающей среды являются основным фактором, ограничивающим пределы обнаружения и определения методом ИСП-МС. Для подготовки образцов пользовались сосудами из фторопласта. Используемые для пробоподготовки фторопластовые посуды тщательно промывали в ультразвуковой ванне в разбавленной (1:1) азотной кислоте и трижды ополаскивали деионизированной водой. Для временного хранения образцов и рабочих градуировочных растворов пользовались одноразовой посудой из полипропилена.

Рабочие стандартные растворы готовили путем смешивания нескольких опорных многоэлементных стандартных растворов для масс-спектрометра *Varian ICP-MS-820*. Для калибровки спектрометра использовали два-три рабочих стандартных растворов, содержащих по 10, 40 и 100 мкг/л всех элементов. Рабочие стандартные растворы использовали в течение 3–5 дней после их приготовления.

Многоэлементные стандартные растворы готовили из стандартных образцов для проб растений, производимых агентствами по стандартным образцам (*NCCRM* – Китай, *NIST* – США, *IRMM* – Объединенная Европа, *NIES* – Япония), а также специализированными фирмами (*Bio-Rad*, *Seronorm*, *Sigma-Aldrich*, *Merck* и др.).

Точность результатов анализа проверяли методом стандартных добавок. Для

этого отбирали две пробы и добавляли растворы стандартного образца таким образом, чтобы содержание определяемого элемента увеличилось по сравнению с исходным на 50–150%. Каждую пробу анализировали в точном соответствии с прописью методики.

Необходимые режимы работы масс-спектрометра устанавливали в соответствии с рекомендациями производителя.

Для проверки достоверности (правильности) результатов анализа в золях мха определяли содержание железа, меди, свинца, кадмия, цинка, магния, марганца, кальция фотометрическим [6] и калия и натрия – пламенно-фотометрическими методами в соответствии ГОСТ 26185-84 [7]. Для этого образцы мха переводили в золу сухим и мокрым озолением [7].

Сухое озоление: воздушно-сухую навеску мха прокаливали в муфельной печи при температуре 450–500 °С (температуру поднимали постепенно) в фарфоровой чашке в течение 2–3 часов до постоянной массы (при более высокой температуре происходила потеря ряда элементов – фосфора, хлоридов калия и натрия). Зола имела светло-серую окраску.

Мокрое озоление: метод основан на окислении органических веществ окислителями – смесью концентрированных азотной и серной кислот. На основе эксперимента нами было подобрано соотношение кислот. Навеску воздушно-сухого образца помещали в колбу Кьельдаля, приливали рассчитанное количество концентрированной азотной кислоты и оставляли под тягой на ночь. Затем нагревали на плитке до прекращения выделения бурых паров оксидов азота и после охлаждения приливали концентрированной серной кислоты. Для контроля за концом озоления в охлажденную колбу приливали осторожно по стенкам колбы холодной дистиллированной воды, если раствор оставался бесцветным и не выделялись бурые пары, озоление считалось законченным. При появлении зеленовато-желтого оттенка озоление продолжали. После окончания озоления раствор количественно переносили в мерную колбу, доводили до метки и взбалтывали. В этом растворе определяли зольные элементы.

Этот метод длительнее сухого озоления. С другой стороны, кальций удобнее определить после сухого озоления, т.к. при мокром озолении с серной кислотой образуется труднорастворимый осадок. Кальций определяли после растворения его в соляной кислоте.

Обработка результатов измерений.

Аналитические сигналы обрабатывались программным обеспечением масс-спектрометра, основываясь на построенных калибровочных линейных регрессиях, рассчитанных методом наименьших квадратов, с учетом коррекции фона, сигнала внутренних стандартов. Результат определения каждого элемента представлялся как среднее из нескольких (не менее двух) параллельных измерений анализируемого образца.

Результаты измерений отображались на мониторе, распечатывались и сохранялись в виде файла на жестком диске компьютера.

В табл. 1 представлены сравнительные результаты ИСП-МС анализа образцов мха после микроволнового разложения и ИНАА [8], а также приведены значения медианы элементов, содержащихся во мхах Казахстана и Норвегии [9].

Таблица 1. Результаты ИСП-МС анализа образцов мха после микроволнового разложения и ИНАА, мкг/г

Наименование химического элемента	Результаты ИСП-МС анализа (Казахстан)	Результаты ИНАА (Казахстан) [8]	Диапазон содержаний элементов в Норвегии [9]
Натрий, Na	820,41	760,4	–
Магний, Mg	2723,62	2627,3	940–2370
Алюминий, Al	2999,34	3879,5	67–820
Кремний, Si	–	19933,5	–
Калий, K	6549,91	6667,5	–
Кальций, Ca	5852,53	5643,5	1680–5490
Мышьяк, As	3,28	3,195	0,020–0,505
Барий, Ba	38,88	44,38	5,6–50,5
Марганец, Mn	232,11	234,115	22–750
Кобальт, Co	0,96	1,5261	–
Никель, Ni	3,81	4,1415	–
Медь, Cu	65,74	–	–
Цинк, Zn	68,72	55,745	7,9–173
Стронций, Sr	9,15	29,555	–
Титан, Ti	–	259,96	12,4–66,4
Свинец, Pb	296,53	–	–
Железо, Fe	181,5	2815	77–1370
Хром, Cr	–	9,406	–
Фосфор, P	17,13	–	–
Селен, Se	0,11	0,306	–
Кадмий, Cd	–	–	0,025–0,171
Ванадий, V	–	7,374	0,39–5,1

Как видно из табл. 1, содержание концентраций элементов, определенных методами ИСП-МС и ИНАА, показало их близкие значения, что указывает на высокую чувствительность и достоверность результатов метода ИСП-МС.

Так как основным требованием к ИСП-МС является полное переведение в раствор элементов, то химическая пробоподготовка является основной стадией, определяющей правильность всего анализа в целом. Надо отметить, что использованный нами метод микро-

волнового разложения, используемый для пробоподготовки, обладает следующими преимуществами: высокой производительностью разложения; более полным окислением органической матрицы; уменьшением потерь летучих элементов при разложении; существенным сокращением времени разложения и уменьшением расхода химических реактивов.

В табл. 2 приведены результаты фотометрического анализа мха при сухом озонении.

Таблица 2. Результаты фотометрического (пламенно-фотометрического) анализа состава мха при сухом озонении, мг/г сухого вещества

Наименование химического элемента	Ca	K	Na	Mg	Mn	Fe	Zn	Cu	Pb	Cd
Содержание химического элемента	5,93	6,67	0,89	2,67	0,25	2,77	0,07	0,07	0,31	0,05

Как видно из табл. 2, результаты ИСП-МС анализа образцов мха также хорошо согласуются с данными фотометрического анализа.

По исследованию мировых государств, в рейтинге самых экологически чистых стран мира на четырнадцатой позиции находится Норвегия [10]. Сравнение концентраций тяжелых элементов в образцах мха Восточно-Казахстанской области показало повышенные значения для большинства элементов (Fe, Ti,

V, As, Mg, Al, Ca) (табл. 1). Полученные данные по накоплению токсичных элементов исследуемыми образцами мха свидетельствуют о неблагоприятной обстановке региона. Антропогенные воздействия на экосистему усиливаются.

Повышение концентраций металлов в исследуемых образцах, по-видимому, обусловлено состоянием промышленного загрязнения в этой области (табл. 3).

Таблица 3. Потенциальные источники загрязнения в Восточно-Казахстанской области Казахстана

Промышленность	Тип производства	Загрязняющие элементы
Металлургия	Казцинк	Pb, Zn, Cu, Cd, Ag, Se, Te, Hg, In, Ce, As
	Усть-Каменогорский титано-магнийевый комбинат	Ti, Mg, Zr, Nd
	Объединение «Востокказмедь»	Cd, As, Cl, Sb, Pb, Zn, Re, Bi
	Ульбинский металлургический завод (УМЗ)	Nb, Ti, Ta, Zr, W, Y, Al, Be, Cu, U
Машиностроение	Востокмашзавод	Fe, Mn, Al
	АО «Усть-Каменогорский арматурный завод»	Si, Cu, Zn, Pb
	АО «Семипалатинский машзавод»	Fe, Mn, Al, Cr, Ti

Проведенное исследование показывает, что биомониторинг мхов атмосферного выпадения тяжелых металлов является эффективным методом изучения воздушных выпадений в Казахстане. Метод масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ИСП-МС) является высокочувствительным многоэлементным анализом и может быть использован при анализе объектов растительного происхождения.

Библиографический список

1. Ruhling, A. Heavy metal deposition in Scandinavia / A. Ruhling, G. Tyler // Water, Air and Soil Pollution. – 1973. – № 2. – P. 445–455.
2. Harmens, H. Heavy metal and nitrogen concentrations in mosses are declining across Europe whilst some «hotspots» remain in 2010 / H. Harmens, Norris D.A., Sharps K. [et al.] // Environmental Pollution. – 2015. – № 200. – P. 93–104.
3. Harmens, H. Heavy metals, nitrogen and POPs in European mosses: 2015 survey / H. Harmens, M.V. Frontasyeva // Monitoring manual International Cooperative Programme on Effects of Air Pollution on Natural Vegetation and Crops. – 2015. – P. 4–7.
4. Steinnes, E. The use of mosses as monitors of trace element deposition from the atmosphere in Arctic regions: a feasibility study from Svalbard / E. Steinnes,

L.B. Jacobse // Norsk Polar institutt Report Series. Oslo. – 1994. – № 88. – P. 250.

5. Карандашев, В. К. Использование метода масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой в элементном анализе объектов окружающей среды / Карандашев В.К., Туранов А.Н. [и др.] // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2007. – Т. 73, № 1. – С. 12–22.

6. Лурье, Ю. Ю. Справочник по аналитической химии / Ю.Ю. Лурье. – Москва : Химия, 1989. – 448 с.

7. ГОСТ 26185-84. Водоросли морские, травы морские и продукты их переработки. Методы анализа. – Москва : Стандарт, 1984. – 53 с.

8. Фронтасьева М.В. Нейтронный активационный анализ в науках о жизни // Физика элементарных частиц и атомного ядра. – 2011. – Т. 42, № 2. – С. 636–716.

9. Steinnes, E. Atmospheric deposition of heavy metals in Norway, National moss survey 2015 / E. Steinnes, H.Th. Uggerud, K.A. Pfaffhuber, T. Berg (NTNU) // Norwegian Environment Agency. – 2017. – P. 55.

10. Индекс экологической эффективности. Полный отчет и анализ. Йельский центр экологической политики и права при Йельском университете. – URL: <https://nonews.co/directory/lists/countries/ecology> - открытый доступ (дата обращения: 19.12.2018).

УДК 543.3:504.455

Е. С. Попова, А. В. Михайлова, С. В. Моржухина, Б. К. Зуев**Химический состав воды пресного озера Белое (НП «Мещера») по данным метода атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой**

Приведены новые данные химического состава воды озера Белое (ФГБУ «НП «Мещера» Рязанской обл.) за 2017 г., которые дополняют данные, полученные ранее – в 2013, 2014 и 2016 гг. Обоснован выбор метода анализа – атомной эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой АЭС-ИСП, как экспрессного и высокочувствительного. Полученные данные характеризуют текущий элементный состав воды озера Белое, а также являются экологической информацией за состоянием природного объекта. По имеющимся наблюдениям можно сказать, что в настоящее время воды озера Белое по качеству вполне определяются как «чистые».

Ключевые слова: аналитическая химия, геохимия, АЭС-ИСП, анализ природной воды, определение элементов, озеро Белое, НП «Мещера»

Об авторах

Попова Евгения Сергеевна – аспирант 4-го года обучения, старший преподаватель государственного университета «Дубна», кафедра химии, новых технологий и материалов. E-mail: zhenya000@mail.ru. 141980, г. Дубна, Московская обл., ул. Университетская, д. 19, корп. 2.

Михайлова Алла Владимировна – кандидат химических наук, старший научный сотрудник, ФГБУН Ордена Ленина и Ордена Октябрьской Революции Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского Российской академии наук (ГЕОХИ РАН), лаборатория инструментальных методов и органических реагентов.

Моржухина Светлана Владимировна – доцент, кандидат химических наук, заведующий кафедрой химии, новых технологий и материалов государственного университета «Дубна», факультет естественных и инженерных наук.

Зуев Борис Константинович – доктор технических наук, профессор, ГЕОХИ РАН, заведующий лабораторией химических сенсоров и определения газообразующих примесей; профессор кафедры химии, новых технологий и материалов государственного университета «Дубна».

В последние годы в аналитической химии усилилось внимание к инструментальным методам анализа природных объектов, которые имеют существенные преимущества по сравнению с обычными химическими методами для решения ряда задач, например экологических. Инструментальные комплексы на базе спектрометров с индуктивно-связанной плазмой играют большую роль в развитии теории и практики экологического мониторинга. Среди них широкое применение нашли системы метода атомной эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой (АЭС-ИСП) для анализа многих объектов. Публикуется большое количество статей, есть монографии [2; 5; 8; 9; 11; 12; 13; 14; 17; 19]. Эти комплексы позволяют быстро проводить многоэлементное определение жидких сред

различной сложности в широком диапазоне определяемых концентраций, при этом возможна настройка спектрометров, их калибровка и диагностика работы в режиме реального времени с помощью современных спутниковых интернет-технологий. Современные приборы АЭС-ИСП, благодаря своей универсальности, обеспечивают необходимую селективность определений, обладают высокими метрологическими показателями в широком диапазоне варьирования концентраций определяемых компонентов. Позволяют также проводить одновременно многоэлементное определение без применения дополнительных стадий разбавления или концентрирования, получать аналитический сигнал, прямо пропорциональный концентрации анализируемых веществ в образце (непосредственно или после пересчета данных с использованием известных математических функций), определять интересующие элементы в присутствии

мешающих компонентов или при действии мешающих факторов (например, матричные эффекты). Современные средства измерения аналитической химии, в том числе АЭС-ИСП, обладают универсальными метрологическими характеристиками: низкими – чувствительностью определения и пределом определения, высокими – воспроизводимостью, точностью и правильностью результатов измерений. Их целесообразно применять для массовых анализов. Ограничением метода АЭС-ИСП выступает только отсутствие методик анализа сложных природных объектов, которых для спектрометров ИСП в настоящее время мало разработано и аттестовано. Перспективным направлением использования таких методов является элементный анализ природных пресных вод озер, расположенных в центре Европейской части РФ, например, в НП «Мещера» [3; 4; 18]. Пробоподготовка в этом случае, как правило, минимальная — фильтрация, чтобы не забивались трубки прибора.

Среди таких озер встречаются уникальные, содержащие чистую бесцветную воду, пригодную для питья. Речь идет об озерах карстового происхождения. Центральная часть Русской равнины имеет особое геологическое строение – водоносные известняки верхнего и среднего карбона перекрыты маломощной толщей юрских отложений. Последние представлены глинами или глинистыми песками мощностью 10–30 м, с так называемыми «гидрогеологическими окнами» (участки, где юрские отложения отсутствуют). Ледник, отступавший с описываемой территории в позднем плейстоцене 20–12 тыс. лет тому назад, образовал углубления в рельефе, в которых скапливались озерно-ледниковые отложения, образовывались озера. На некоторых участках отступающим ледником вскрыты известняки карбона, содержащие напорные пресные воды. Абсолютная отметка уровня напорных вод 130–140 м, т.е. в понижениях рельефа она выше земной поверхности. На таких участках (в долинах рек и в низинах) образовались карстовые (провальнокарстовые) озера с чистой, прозрачной, бесцветной водой. Озера подобного типа встречаются в пределах болот на Мещерской низменности, одно из них – оз. Белое, расположенное рядом с дер. Белое (Клепиковский район Рязанской области, в 22 км от города Спас-Клепики, северное), координаты: 55°16'51"N и 40°14'1"E. Уникальность оз. Белого заключается в достаточно большом запа-

се воды (4315 тыс. м³). Максимальная глубина ~52,5 м (при средней глубине 18,3 м), у озера нет притоков (вытекает только один ручей). Таким образом, питание озера осуществляется только за счет подземных вод, поскольку вклад атмосферных осадков (летних и зимних) при таких объемах воды незначителен.

Анализ природных озер с пресной водой, подвергающихся постоянному загрязнению в условиях острой нехватки водных ресурсов, задача чрезвычайно актуальная [6; 7].

Экспериментальная часть

В работе использовали: многопрофильный оптический эмиссионный спектрометр ICPE-9000 (производство Shimadzu, Япония), имеющий сертификат Госстандарта России, зарегистрированный в Государственном реестре средств измерений; весы аналитические электронные с пределом допускаемой погрешности $\pm 0,0001$ г, отвечающие требованиям весы лабораторные общего назначения ГОСТ 24104; аквадистиллятор электрический одноступенчатый по ГОСТ 28165; установку для получения деионизованной воды MilliPAK Gamma gold Millipore; дозаторы жидкости ручные автоматические с одноразовыми накопниками емкостью 0,5–10 и 50–200 мкл, обеспечивающие суммарную погрешность дозирования на уровне $\pm 1\%$. Использовали также азотную кислоту, концентрированную по ГОСТ 11125 особой чистоты или по ГОСТ 4461, очищенную методом не кипящей перегонки в пластиковой системе; аргон сжатый высокой чистоты, ГОСТ 10157; ацетон, ос.ч., ТУ 263-039-44493179-00; стандартные образцы состава растворов одно- и многоэлементные, сертифицированные.

Для анализа отбирали 10 мл воды, пробоподготовка не требовалась, поскольку вода не содержала осадка. Измерения проводили в трехкратной повторности.

Для приготовления градуировочных растворов использовали мультикомпонентный стандарт на 23 элемента в 2% HNO₃ Merck KGaA (Германия): стандартный раствор 1000 mg/L: Ag, Al, B, Ba, Bi, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Ga, B, K, Li, Mg, Mn, Na, Ni, Pb, Sr, Tl и Zn). В спектрометре ICPE-9000 программа автоматически строит градуировочные графики при запоминании более одной аналитической точки.

Погрешности измерений рассчитаны согласно методике [10].

Результаты анализа проб, отобранных в марте 2017 г., представлены в табл. 1, символ «-» соответствует отсутствию данных. Пробы анализировали в трехкратной повторности. Не обнаружены элементы: Ag, Au, B, Ba, Bi, Cd, Co, Cr, Cu, Ga, Hf, In, Ir, Ni, Os, Pb, Pd, Pt, Re, Rh, Ru, Sb, Sn, Ta, Ti, Tl, Zn и Zr. Для сравнения приведены результаты анализа воды оз. Белое за 2013, 2014 и 2016 гг., питьевой воды *Aqua*

Minerale и др., а также предельно-допустимые концентрации (ПДК) питьевых вод.

Расчет коэффициентов в уравнении регрессии методом наименьших квадратов и расчет концентраций элементов производился при помощи программного обеспечения *ICPE Solution*. Градуировочные графики для некоторых элементов приведены ниже.

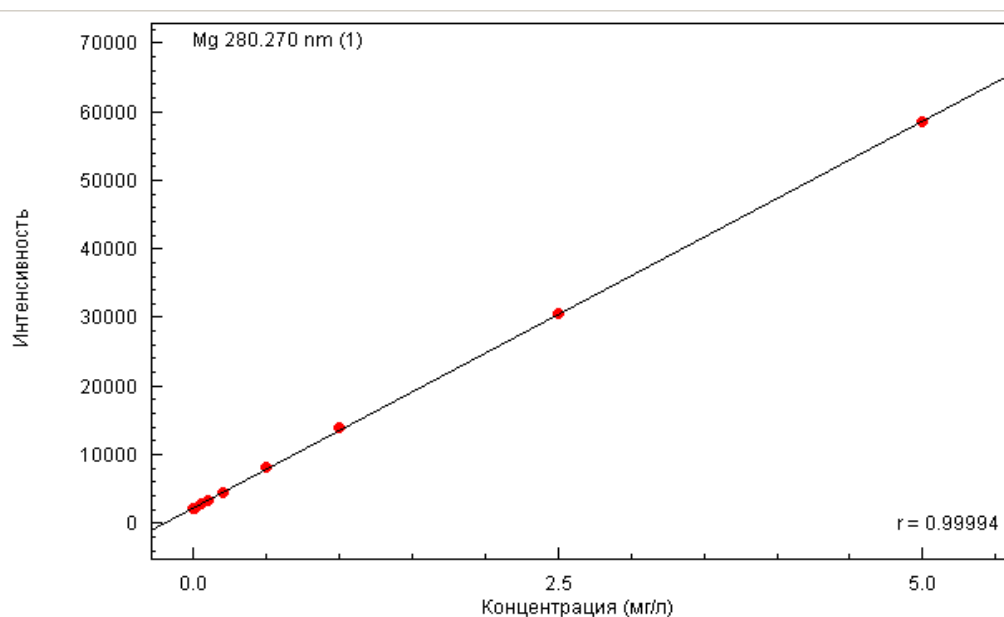


Рис. 1. Градуировочный график для магния при длине волны 280.270 нм

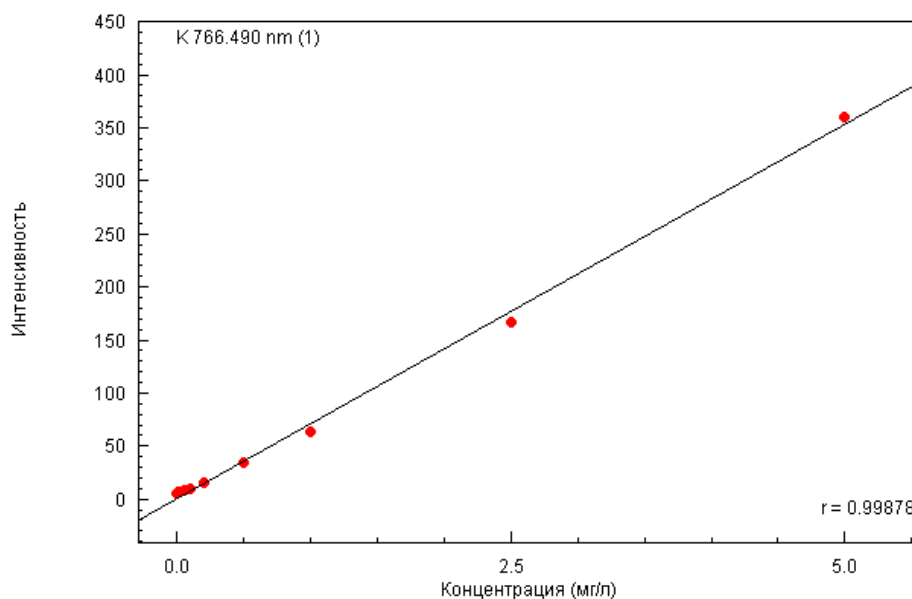


Рис. 2. Градуировочная зависимость для калия при длине волны 766.490 нм

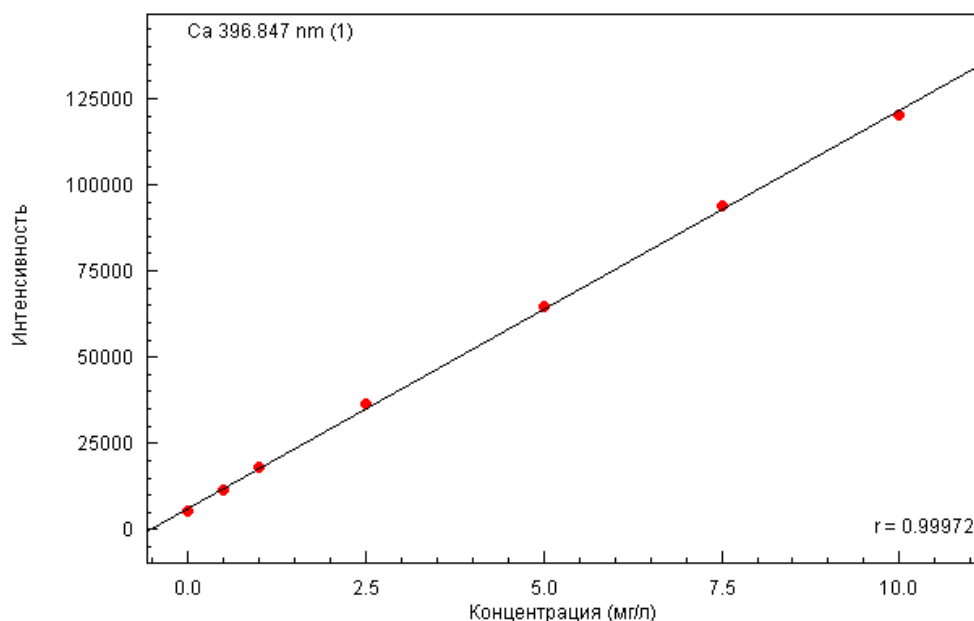


Рис. 3. Градуировочная зависимость для кальция при длине волны 396.847 нм

Гидрохимия воды, мг/дм³

Элемент	оз. Белое, март 2017 г. АЭС-ИСП (наши данные)	оз. Белое, июль 2016 г., АЭС-ИСП [18]	оз. Белое, март 2016 г., АЭС-ИСП [18]	оз. Белое, август 2014 г., МС-ИСП [18]	оз. Белое, август 2013 г., АЭС-ИСП [4]	Скважина 83 м, Моск. обл., Истринский р-н, сентябрь 2018 г.	оз. Байкал [1]	<i>Aqua Minerale</i> [15]	ПДК [16]
Al	0.026±0.004	<0.001	<0.001	0.136	0.007	<0.01	следы	<0.01	0.5
B	<0.005	<0.005	0.05	0.06	0.021	-	-	<0.1	0.5
Ba	<0.005	0.01	<0.005	0.016	0.022	-	-	<0.05	0.1
Co	<0.005	<0.002	0.003	0.0001	< 0.002	-	-	<0.001	0.1
Cu	<0.001	0.015	1.35	0.0099	0.002	-	-	<0.001	1.0
K	2.3±0.3	3.1	0.39	5.68	5.39	16.5	2.0	1.40±0.28	20
Mn	<0.005	<0.005	3.2	0.0028	0.42	-	0.001–0.002	<0.001	0.1
Na	2.75±0.36	3.27	0.005	6.34	4.89	7.5	3.8	11.0	200
Ni	<0.005	0.007	0.14	0.0042	< 0.002	-	-	<0.001	0.1
Sr	<0.001	0.087	0.01	0.118	0.13	-	-	<0.1	7.0
Zn	<0.005	<0.005	<0.005	0.107	0.02	-	-	0.001	5.0
Ca	5.65±0.96	-	-	11.68	-	66	15.2	7±1	25–130
Fe	<0.002	-	-	0.126	-	0.71	0.02–0.03	<0.0005	0.3
Mg	1.49±0.19	-	-	3.29	-	8.9	3.1	2.8±0.3	5–65

Заключение

На территории центральной Европейской части РФ сложились благоприятные гидрогеологические условия для формирования пресных озер с чистой водой, которые необходимо сохранять и в дальнейшем.

Анализируя полученные экспериментальные данные, можно сделать вывод, что вода в озере Белое (дер. Белое) гидрокарбо-

натно-кальциевая, практически без органических веществ, с малым содержанием железа и биогенов (соединений азота, фосфора и калия). Как видно, за годы наблюдений накопления элементов в воде практически не происходит. Возможно, часть элементов уходит из раствора во вторичные отложения (глины/суглинки) или сорбируется песком. В целом

озеро Белое справляется с антропогенной нагрузкой, которая с каждым годом возрастает.

Показатели являются индикаторами интенсивности освоения озера, а их изменения позволят определять правильность эксплуатации озерной экосистемы. Результаты работы могут быть использованы как базовые составляющие биогеохимического фона, с которыми будут сравниваться изменения химического состава поверхностных вод центра Европейской части РФ, происходящие при климатических изменениях и увеличении антропогенной нагрузки на данную территорию.

Библиографический список

1. Агрегатор новостей Бурятии и Электронная энциклопедия. Гидрохимия Байкала. Гидрохимия озера. — URL: <https://my-buryatia.ru/bajkal/gidrohimiya-bajkala-gidrohimiya-ozera/>.
2. Аналитическая химия и физико-химические методы анализа / Н.В. Алов [и др.] ; под. ред. А.А. Ищенко. — Москва : Академия, 2012. (в 2-х томах, 1 том — 352 с., 2 том — 416 с.) — (Сер. Бакалавриат).
3. Ахметьева, Н. П. Болотная вода Европейской части России — резерв питьевой воды в чрезвычайных ситуациях / Н.П. Ахметьева, А.Ю. Беляев, Г.Н. Кричевец [и др.] // Труды ИНСТОП-ФА. — 2017. — № 16(69). — С. 3–10. — URL: <https://cyberleninka.ru/journal/n/trudy-instorfa#/1002667>.
4. Ахметьева, Н. П. Состояние воды озера Белое (деревня Белое) и Вожской мелиоративной системы (Рязанская область) / Н.П. Ахметьева, А.В. Михайлова, В.Г. Линник [и др.] // Современные проблемы состояния и эволюции таксонов биосферы». — Москва : ГЕОХИ РАН. — 2017. — 495 с. — (Тр. Биогеохим. лаб.; Т. 26). С. 236–242. ISBN 978-5-905049-17-0.
5. Гришанцева, Е. С. Определение редких и редкоземельных элементов в природных, поровых и поверхностных водах Иваньковского водохранилища методами атомно-эмиссионной и масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой / Е.С. Гришанцева, Н.С. Сафронова, А.Ю. Бычков [и др.] // Вода: химия и экология. — 2015. — № 7 (85). — С. 65–73.
6. Данилов-Данильян, В. И. Водные ресурсы мира и перспективы водохозяйственного комплекса России / В.И.Данилов-Данильян. Москва : ООО «Типография ЛЕВКО», Институт устойчивого развития / Центр экологической политики России, 2009. — 88 с.
7. Данилов-Данильян, В. В. Потребление воды: экологический, экономический, социальный и политический аспекты / В.В.Данилов-Данильян, К.С. Лосев. — Москва : Наука, 2006. — 221 с.
8. Другов, Ю. С. Пробоподготовка в экологическом анализе. Практическое руководство / Ю.С. Другов, А.А. Родин. — Москва : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. — 855 с.
9. Конье, А. Методы повышения чувствительности определения элементов в атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-АЭС) / А. Конье, С. Веласказ // Аналитика и контроль. — 2007. — Т. 11, № 1. — С. 35–38.
10. Методика количественного химического анализа. Определение металлов в питьевой, минеральной, природной, сточной воде и в атмосферных осадках методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой с помощью спектрометра ICPE-9000. М-02-1109-08. — СПб. — 2009.
11. Отто М. Современные методы аналитической химии: в 2-х т. / М. Отто ; пер. с нем. под ред. А.В. Гармаша. — Москва : Техносфера, 2004. — Т. 1. — 416 с. ; Т. 2. — 288 с. — (Мир химии).
12. Попова, Е. С. Определение содержания тяжелых металлов и полиароматических углеводородов в пробах мхов-биоиндикаторов с территории южного Казахстана / Е.С. Попова, М.В. Фронтасьева [и др.] // Вестник Международного Университета природы, общества и человека «Дубна» — 2016. — № 4(36). — С. 45–54.
13. Пупышев, А. А. Атомно-эмиссионный спектральный анализ с индуктивно связанной плазмой и тлеющим разрядом по Гримму / А.А. Пупышев, Д.А. Данилова. — Екатеринбург : ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2002. — 202 с.
14. Пупышев, А. А. Использование АЭС-ИСП для анализа материалов и продуктов черной металлургии / А.А. Пупышев, Д.А. Данилова // Аналитика и контроль. — 2007. — Т. 11, № 2—3. — С. 131–181.
15. Российская система качества. Вода питьевая негазированная, первой категории под товарным знаком Aqua Minerale. — URL: https://roskachestvo.gov.ru/catalog/issledovanie-vody/voda_pitevaya_negazirovannaya_pervoy_kategorii_pod_tovarnym_znakom_akva_minerale_53rsk0026/ (дата обращения: 02.11.2018).
16. СанПиН 2.1.4.1074-01. Питьевая вода. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. Нормативы солевого и газового состава (кальций, магний, калий) приведены в соответствии с нормами физиологической полноценности воды согласно СанПиН 2.1.4.1116-02.
17. Темердашев, З. А. Определение тяжелых металлов в мидии *Mytilus galloprovincialis*

- Lamarck методом ИСП-АЭС / З.А. Темердашев, И.Ю. Елецкий, А.А. Каунова, И.Г. Корпакова // Аналитика и контроль. – 2017. – Т. 21, № 2. – С. 116–124. – DOI: 10.15826/analitika.2017.21.2.009.
18. Akmet'eva N.P., Simakina Ya.I., Belyaev A.Yu., Krichevets G.N., Solov'ev A.I. Hydrahemical Features of Boggy River Sources and Lakes in Central European Russia / N.P. Akmet'eva, Ya.I. Simakina, A.Yu. Belyaev [et al] // Water Resources. – 2016. – Vol. 43, No. 1. – P. 158–165.
19. Proskurnin M., Baranova M., Volkov D. (2014). Application of ICP-OES for the quality analysis of jug home water filtration systems. 10.13140/RG.2.2.17225.54884.

Поступила в редакцию
19.07.2019

УДК 539.165.3, 539.16.07

Н. С. Румянцева, К. Н. Гусев**Эксперименты по поиску двойного безнейтринного бета-распада**

Двойной безнейтринный бета-распад – это процесс, идущий с нарушением закона сохранения лептонного числа, вследствие чего запрещенный в Стандартной модели (СМ) электрослабого взаимодействия. Обнаружение данного процесса будет однозначным подтверждением существования Новой физики за пределами СМ. На сегодняшний день проводится множество экспериментов, направленных на поиск двойного безнейтринного бета-распада на различных изотопах (^{76}Ge , ^{136}Xe , ^{130}Te , ^{100}Mo и др.). В предлагаемой работе представлены краткий обзор результатов некоторых из актуальных проектов, таких как GERDA, MAJORANA, KamLAND-Zen, EXO-200, CUORE и SuperNEMO, и планы по созданию экспериментов нового поколения.

Ключевые слова: двойной безнейтринный бета-распад, Стандартная модель, Новая физика, детекторы

Об авторах

Румянцева Надежда Сергеевна – ассистент, Кафедра нанотехнологий и новых материалов, государственный университет «Дубна», младший научный сотрудник, лаборатория ядерных проблем, Объединенный институт ядерных исследований, Дубна. E-mail: rumyantseva.nads@gmail.com. Московская обл., г. Дубна, пр-т Боголюбова, д. 16/2, кв. 73.

Гусев Константин Николаевич – старший научный сотрудник, лаборатория ядерных проблем, Объединенный институт ядерных исследований, Дубна.

На протяжении уже более семидесяти лет двойные бета-процессы (особенно в их безнейтринных модах) привлекают к себе повышенное внимание экспериментаторов. Этот интерес объясняется тем, что само существование двойных безнейтринных процессов непосредственно связано с такими принципиальными вопросами физики элементарных частиц, как не сохранение лептонного заряда, наличие у нейтрино массы и ее природа, существование правых токов в электрослабом взаимодействии, суперсимметрия и т.д.

Для 35 ядер обычный бета распад энергетически запрещен, однако может идти двойной двух- $(2\nu\beta\beta)$ или безнейтринный бета ($0\nu\beta\beta$) распад:

$$(A, Z) \rightarrow (A, Z + 2) + 2e^{-} (+2\bar{\nu}).$$

$2\nu\beta\beta$ -распад является процессом второго порядка по слабому взаимодействию и не запрещен законами сохранения, а его регистрация дает информацию о значениях ядерных матричных элементов (ЯМЭ) для 2β -переходов. Безнейтринная мода двойного бета-распада идет с нарушением закона сохранения лептонного числа ($\Delta L = 2$), поэтому запрещена в Стандартной модели электрослабо-

го взаимодействия, поскольку в этой модели лептонное число сохраняется. Таким образом, обнаружение $0\nu\beta\beta$ -распада, каким бы механизмом он ни вызывался, однозначно свидетельствовало бы о проявлении Новой физики. Существование двойного безнейтринного бета-распада предполагает, что частица нейтрино является собственной античастицей (майорановским фермионом). И именно $0\nu\beta\beta$ -распад является наиболее эффективным методом измерения майорановской массы нейтрино. На данный момент определены только ограничения на период полураспада для различных ядер и, соответственно, пределы на эффективную массу майорановского нейтрино. Кроме того, ограничения на вероятность двойного безнейтринного бета-распада позволяют установить пределы и на другие параметры теории, такие как, например, константы связи правых лептонных и кварковых токов в слабом взаимодействии и нейтрино с майороном, а также некоторые параметры суперсимметричных моделей.

В природе существует 35 ядер-кандидатов на возможный 2β -распад, однако наибольший интерес представляют ядра с энергией 2β -перехода $Q_{\beta\beta} > 2$ МэВ, поскольку вероятность процесса сильно зависит от энергии перехода. Кроме того, чем выше энергия 2β -перехода, тем меньше фон в области возможного сигнала.

Экстремально большое время жизни ядер, распадающихся по 2β -каналу, осложняет осуществление любого прямого эксперимента по изучению 2β -процессов. Наиболее значимым фактором здесь становится максимальное уменьшение радиоактивного фона. Перечислим основные источники фона: космическое излучение, радиоактивность окружающей среды, радиоактивные примеси в самом детекторе и в материалах установки, взаимодействие входящих в состав детектора ядер с фоновыми нейтронами. Кроме того, фон может быть обусловлен и электромагнитными помехами. Для подавления фона детекторы окружаются комбинированными активной и пассивной защитами от внешних излучений. Конструкционные материалы тщательно отбираются по радиационной чистоте. Измерения проводятся в подземных низкофоновых лабораториях для устранения мюонной компоненты космического излучения. В течение всего эксперимента проводится многоэтапный анализ и устранение источников фона. Типичный эксперимент по исследованию 2β -распада предполагает непрерывное функционирование детекторов и вспомогательного оборудования в течение тысяч часов, что накладывает особые требования на стабильность и надежность работы аппаратуры.

Среди прямых экспериментов можно рассматривать отдельно эксперименты калориметрического типа, т.е. эксперименты с «активным 2β -источником» (в состав материала детектора входит изотоп-кандидат на 2β -распад) и с «пассивным источником» (тонкий слой источника помещается между регистрирующими детекторами). Каждый из этих классов имеет свои преимущества и недостатки. Так, в случае пассивного источника появляется возможность исследовать энергетические спектры одиночных электронов, излучаемых в 2β -распаде, и существенно подавлять фон за счет использования схемы совпадений. Однако вследствие самопоглощения электронов (или рентгеновского излучения) источником и геометрического фактора эффективность регистрации искомым событий в данном классе экспериментов невысока. Эффективность методики с активным источником приближается к 100%, но в данном случае детектор в большинстве случаев способен измерять лишь полную энергию, выделенную в 2β -распаде.

В разрешенной моде 2β -распада высвобождающаяся энергия $Q_{\beta\beta}$ распределяется между четырьмя испускаемыми частицами и ее измеряемая часть (а именно, суммарная энергия двух электронов) имеет непрерывный спектр. В случае $0\nu\beta\beta$ -распада почти вся энергия перехода распределяется между двумя электронами. Доля энергии, приходящаяся на отдачу ядра, пренебрежимо мала. Таким образом, спектр суммарной энергии электронов при экспериментальном обнаружении процесса должен иметь вид (в случае достаточного энергетического разрешения аппаратуры) узкого пика, положение которого на шкале энергий соответствует энергии распада. Поэтому энергетическое разрешение детектора для регистрации данного процесса имеет решающее значение. С этой точки зрения, эксперименты, в которых используются полупроводниковые детекторы, изготовленные из германия, обогащенного изотопом ^{76}Ge , обладают несомненным преимуществом вследствие великолепного энергетического разрешения, присущего германиевым детекторам (рис. 1).

Однако существует множество перспективных экспериментов по поиску $0\nu\beta\beta$ -распада, в которых применяются другие изотопы-кандидаты. Общая черта большинства современных проектов – использование методики с «активным» источником, но также реализуются и эксперименты с внешним источником. В данной статье рассмотрены наиболее чувствительные современные эксперименты. На сегодняшний день $0\nu\beta\beta$ -распад не зарегистрирован, однако накопленные экспериментальные данные позволяют получить ограничение на эффективную массу майорановского нейтрино. Надежность и точность этого ограничения во многом определяется качеством расчетов ЯМЭ для $0\nu\beta\beta$ -процесса, что является крайне сложной теоретической задачей. В настоящее время точность этих расчетов недостаточно высока, однако в последние годы и здесь достигнут заметный прогресс. Если еще 10 лет назад значения матричных элементов отличались в вычислениях разных авторов в 3 раза и более, то сегодня эти расхождения снизились до 1.5–2 раз. В любом случае, используя наиболее консервативные значения ЯМЭ ($0\nu\beta\beta$), можно получить вполне надежное ограничение на массу нейтрино.

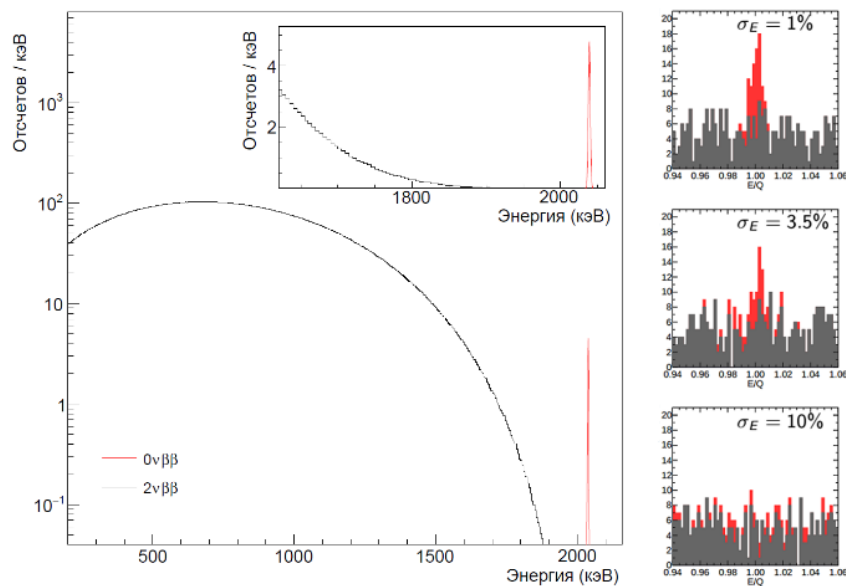


Рис. 1. Аппаратурный спектр двухнейтринной и безнейтринной мод двойного бета-распада и влияние энергетического разрешения на возможность выделения искомого сигнала из фона

Эксперименты

GERDA [2] – эксперимент по поиску $0\nu\beta\beta$ -распада ^{76}Ge . В данном проекте используются полупроводниковые детекторы, изготовленные из обогащенного германия ^{76}Ge . Эксперимент **GERDA** проводится в подземной лаборатории Гран Сассо (Италия) на глубине 3500 метров водного эквивалента, что позволяет подавить поток космических мюонов до $1,25 \mu$ на м^2 в час. Главной особенностью данного проекта является использование открытых германиевых детекторов, погруженных непосредственно в жидкий аргон, который не только охлаждает детекторы до нужной температуры, но и является активной защитой от фоновое излучения. Криостат с жидким аргоном в свою очередь помещен в бак с чистой водой, играющей роль пассивной и активной защиты (посредством регистрации мюонов за счет черенковского излучения). На данном этапе (фаза 2) исследуется около 40 кг обогащенного германия в виде полупроводниковых германиевых детекторов. Экспериментальная установка **GERDA** представлена на рис. 2. Набор данных начат с декабря 2015 г. Авторы статьи являются непо-

средственными участниками данного эксперимента.

MAJORANA [7] – американский эксперимент, также как **GERDA**, избравший в качестве и источника, и детектора германий. Однако здесь полупроводниковые детекторы из ^{76}Ge работают в стандартной конфигурации: они размещены в вакуумных криостатах, изготовленных из высокочистой меди (рис. 3). В **MAJORANA** исследуется 40 кг HPGe-детекторов (30 кг обогащенного германия и 10 кг натурального германия). Эксперимент расположен в подземной лаборатории **SURF** в США на глубине 4300 метров водного эквивалента. Набор данных в **MAJORANA** начат в декабре 2015 г. После достижения необходимой статистики и получения научных результатов планируется объединение коллабораций **MAJORANA** и **GERDA** для совместной реализации масштабного германиевого эксперимента **LEGEND**. Сначала планируется измерять 200 кг обогащенного германия ^{76}Ge в проекте **LEGEND-200**, который будет запущен в 2020 г. [3], а в следующей фазе проекта измерять тонну ^{76}Ge .



Рис. 2. Экспериментальная установка GERDA

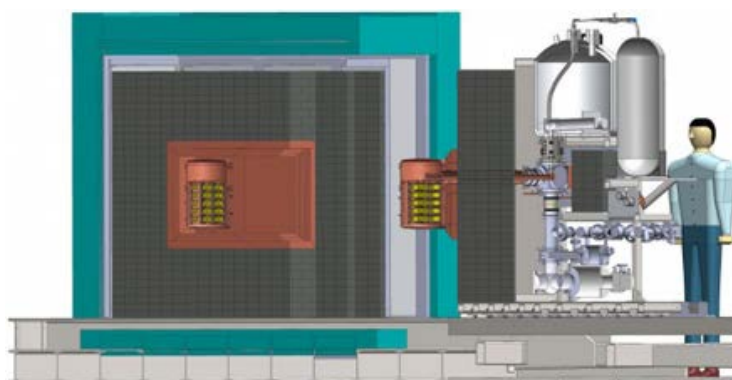


Рис. 3. Экспериментальная установка MAJORANA

Эксперименты *KamLAND-Zen* [1] и *EXO-200* [12] используют в качестве изотопа ^{136}Xe в жидком виде. В эксперименте *KamLAND-Zen* детектор представляет собой сферу (внешний баллон), окруженную водной защитой (рис. 4). Внешний баллон содержит 1000 т жидкого сцинтиллятора, в центре детектора помещен дополнительный внутренний баллон, содержащий 13 т жидкого сцинтиллятора. В чувствительном объеме содержится 179 кг ^{136}Xe . Проводится данный эксперимент в подземной лаборатории Камиока (Япония) на глубине 2700 метров водного эквивалента. В 2018 г. коллаборация установила новую сферу увеличенного размера, которую планируется заполнить ксенонсодержащим сцинтиллятором (~750 кг) в начале следующего года. В дальнейшем планируется проведение эксперимента *KamLAND2-Zen*, в котором масса ^{136}Xe будет доведена до 1 тонны.

Эксперимент *EXO-200* проводится в подземной лаборатории WIPP (США) глубиной 1585 метров водного эквивалента, детектором служит времяпроекционная камера (TPC) на жидком ксеноне, которая окружена слоями пассивной и активной защиты. В чувствительном объеме содержится 79.4 кг ^{136}Xe . Следующим шагом будет создание установки *nEXO* [8] с несколькими тоннами обогащенного ксенона в лаборатории SNOLAB (Канада) глубиной 6000 метров водного эквивалента. Экспериментальная схема установки представлена на рис. 5.

CUORE [9] – проект, разработанный для поиска двойного безнейтринного бета-распада изотопа ^{130}Te . Данный эксперимент, как и *GERDA*, расположен в Национальной лаборатории Гран Сассо (Италия). В проекте применяются криогенные детекторы (болометры), изготовленные из диоксида теллура (рис. 6).

Всего в эксперименте используются 988 болометров полной массой 741 кг (206 кг обогащенного ^{130}Te). На сегодняшний день в эксперименте идет набор данных. Помимо этого, проводится активная подготовка к болометрическому эксперименту следующего поколения *CUPID* [10], в котором, помимо увеличения массы исследуемого изотопа, будут также применяться методики подавления фона посредством идентификации типа ионизирующего излучения за счет регистрации двойного сигнала (тепловой и сцинтилляционный).

Эксперимент *SuperNEMO* – это, пожалуй, единственный на сегодня эксперимент, использующий методику «пассивного» источника [6], позволяющую одновременно исследовать несколько изотопов-кандидатов на двойной бета-распад. Детектор имеет планарную геометрию

и состоит из 20 идентичных секций, в центр которых помещается источник. Экспериментальная установка показана на рис. 7. Данный проект является наследником успешного эксперимента *NEMO-3*, в котором, помимо пределов на периоды полураспада $0\nu\beta\beta$ -распада для различных изотопов (^{48}Ca , ^{82}Se , ^{100}Mo , ^{116}Cd , ^{150}Nd), получены важные экспериментальные результаты по двухнейтринным, а также экзотическим модам бета-распада. В настоящее время первый модуль установки *SuperNEMO (Demonstrator)* смонтирован в подземной лаборатории в Модане (Франция) и проходит последние тесты перед началом набора данных.

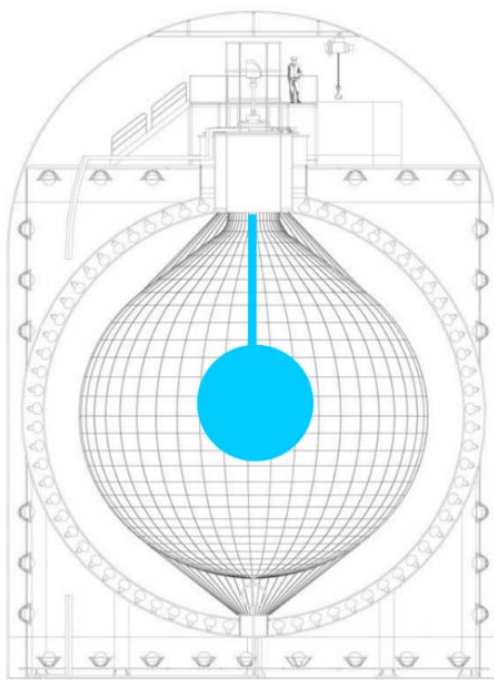


Рис. 4. Экспериментальная установка *KamLAND-Zen*

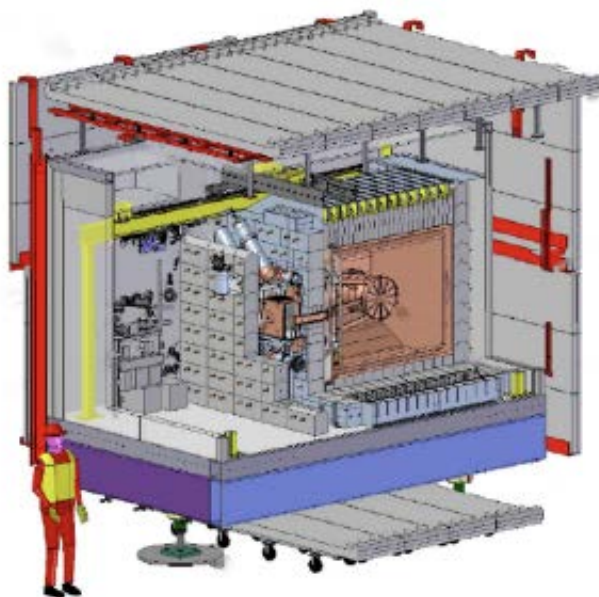


Рис. 5. Экспериментальная установка *EXO-200*

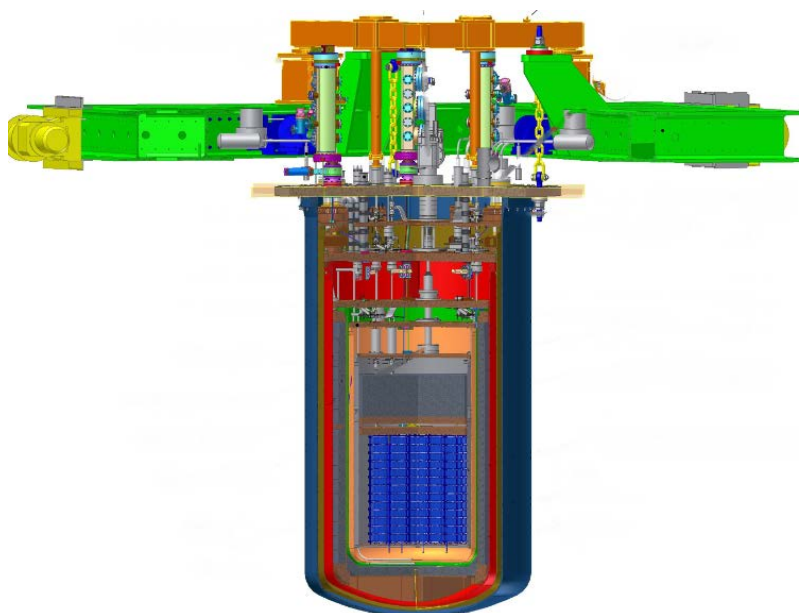


Рис. 6. Экспериментальная установка *CUORE*

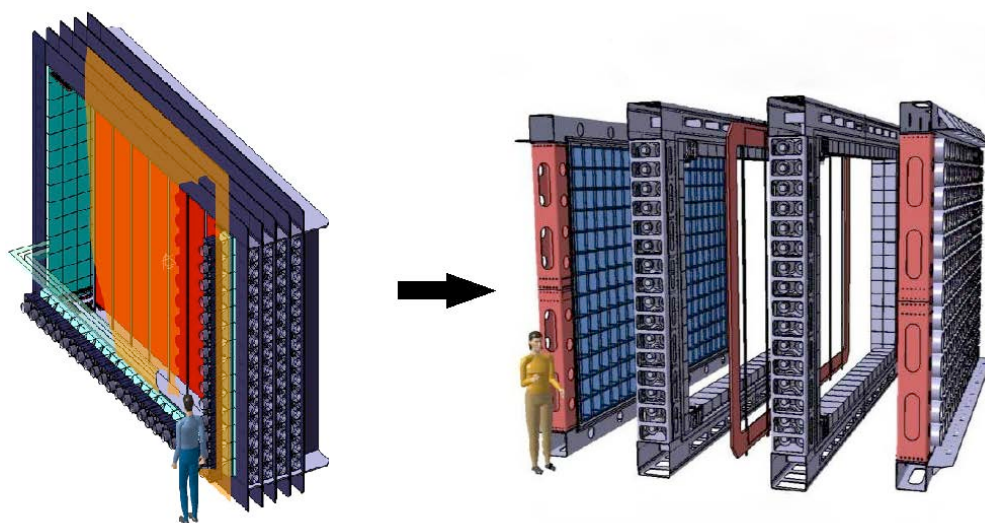


Рис. 7. Экспериментальная установка SuperNEMO

Результаты

Как упоминалось выше, связь между периодом полураспада двойного безнейтринного бета-распада и эффективной массой майорановского нейтрино представлена следующей формулой [4], в которую входит ЯМЭ:

$$\frac{1}{T_{1/2}^{0\nu}} = G^{0\nu} |M^{0\nu}|^2 \langle m_{\beta\beta} \rangle^2.$$

На сегодняшний день лучший результат для ^{76}Ge дает эксперимент GERDA: $T_{1/2} > 9 \cdot 10^{25}$ лет (на 90% уровне достоверности) при беспрецедентной чувствительности $11 \cdot 10^{25}$ лет (на 90% уровне достоверности). Кроме того, достигнут рекордный индекс фона при нормировании на энергетическое разрешение в области 0ν -распада: $BI \sim 0.6 \cdot 10^{-4}$ событий/(кэВ·кг·год).

Для ^{136}Xe лучший результат на период полураспада получен в эксперименте KamLAND-Zen: $T_{1/2} > 10.7 \cdot 10^{25}$ лет при чувствительности $5.6 \cdot 10^{25}$ лет. В таблице представлены последние результаты, полученные в описанных экспериментах, среди прочего также указаны ограничения на массу майорановского нейтрино, вычисленные с использованием ядерных матричных элементов, значения которых различаются в вычислениях разных авторов в 1.5–2 раза [5]. Проведя комбинированный анализ полученных ограничений на майорановскую массу из разных экспериментов, получим новое ограничение на эффективную майорановскую массу: $m_{\beta\beta} > 65\text{--}158$ мэВ.

Сравнение различных экспериментов по поиску двойного безнейтринного бета-распада

Эксперимент	Исследуемый изотоп	Экспозиция, кг·лет	Предел $T_{1/2}, 10^{25}$ лет	Чувствительность $T_{1/2}, 10^{25}$ лет	Масса $m_{\beta\beta}$, мэВ
GERDA	^{76}Ge	82.4	9	11	112–228
Majorana	^{76}Ge	26.0	2.7	4.8	169–346
KamLAND-Zen	^{136}Xe	593.5	10.7	5.6	76–234
EXO-200	^{136}Xe	177.6	1.8	3.7	93–287
CUORE	^{130}Te	24.0	1.5	0.7	162–757

Заключение

Поиск двойного безнейтринного бета-распада – это одна из важнейших задач современной физики, что подтверждается значи-

тельным количеством проводимых и планируемых экспериментов, малая часть из которых освещена в данной работе. Однако создание крупномасштабного проекта нового поколения в этой области исследований является

грандиозной экспериментальной задачей, т.к. требуется проводить длительные измерения громадных количеств исследуемого изотопа при условии обеспечения практически нулевого фона. Несмотря на это, значительные успехи, достигнутые в актуальных экспериментах, позволяют рассчитывать на успешное решение такой задачи даже для нескольких изотопов. Крайне важно отметить, что последние расчеты вероятности открытия процесса двойного безнейтринного бета-распада показывают, что эта вероятность достаточно велика для большинства проектов нового поколения даже в случае нормальной иерархии нейтринных масс [11].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Aalseth C. E. *et al.* [Majorana Collaboration] // Phys. Rev. Lett. – 2018. – V. 120. – P. 132502.
2. Abgrall N. *et al.* [LEGEND Collaboration]. arXiv:1709.01980
3. Agostini M. *et al.* [GERDA Collaboration] // Eur. Phys. J. C V. – 2018. – V. 78. – P. 388.
4. Agostini M., Benato G. and Detwiler J. A. // Phys. Rev. D. – 2017. – V. 96. – P. 053001.
5. Alduino C. *et al.* [CUORE Collaboration] // Phys. Rev. C. – 2018. – V. 97. – P. 055502.
6. Arnold R. *et al.* // Eur. Phys. J. C. – 2010. – V. 70. – P. 927.
7. Asakura K. *et al.* [KamLAND-Zen Collaboration] // AIP Conf. Proc. – 2015. – V. 1666. – P. 170003.
8. Azzolini O. *et al.*, arXiv:1802.07791
9. Dell'Oro S., Marcocci S., Vissani F. // Phys. Rev. D. – 2014. – V. 90. – P. 033005.
10. Leonard D. S. *et al.* [EXO-200 Collaboration] // NIM in Physics Research A. – 2017. – V. 871. – P. 169–179.
11. Licciardi C. [nEXO Collaboration] // IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series. – 2017. – V. 888. – P. 012237.
12. Simkovic F. *et al.* // Phys. Rev. C. – 2013. – V. 87. – P. 045501.

Поступила в редакцию
19.07.2019

УДК 37.033

О. А. Савватеева, Н. А. Шахова, И. А. Старостина**Формирование экологической культуры на современном этапе**

Рассмотрено состояние процесса формирования экологической культуры общества на современном этапе. Экологическая культура направлена на выстраивание гармоничных взаимоотношений между человеком и окружающей средой, организацию любой деятельности в соответствии с основными законами природы и принципами устойчивого развития общества. Без должного внимания к экологическим аспектам нашей жизни невозможно перейти к устойчивому развитию. В работе анализируются факторы процесса формирования экологической культуры, основные аспекты и проблемы, тенденции в области экологической культуры, опыт зарубежных стран, а также опыт построения системы экологического образования для повышения уровня экологической культуры населения на примере г.о. Дубны.

Ключевые слова: окружающая среда, рациональное природопользование, экологическое воспитание, экологическая культура, экологическое мировоззрение, экологическое образование

Об авторах

Савватеева Ольга Александровна – кандидат биологических наук, доцент, доцент кафедры экологии и наук о Земле государственного университета «Дубна». E-mail: ol_savvateeva@mail.ru. Московская обл., г. Дубна, ул. Университетская, д. 19.

Шахова Наталья Александровна – студент-магистрант кафедры экологии и наук о Земле государственного университета «Дубна».

Старостина Инна Алексеевна – студент-магистрант кафедры экологии и наук о Земле государственного университета «Дубна».

Начавшийся XXI век характеризуется обострением глобальных экологических проблем и их последствий. Человек столкнулся с осознанием того, что дальнейшее существование возможно лишь в условиях гармонизации взаимоотношений между природой и обществом. Все больше ученых, государственных и общественных деятелей, грамотных природопользователей связывают преодоление глобальных экологических проблем, а также переход к устойчивому развитию с необходимостью формирования высокого уровня экологической культуры личности и общества.

Понятие экологической культуры многогранно, каждый автор в своих публикациях дает свое определение. В целом это уровень восприятия обществом природы, окружающего мира и оценка своего положения во Вселенной, отношение человека к миру. Экологическая культура является частью системы (рис. 1), состоящей из экологического образования, экологического сознания и коэволюционного отношения человека к природе и себе, взаимосвязанных друг с другом.

Состояние и эффективность систематизации составляющих экологического образо-

вания в России остается на достаточно низком уровне и во многом не соответствует международным стандартам. На качестве и темпах развития отечественного экологического образования, экологического воспитания, просвещения и культуры сказываются следующие факторы:

- недооценка обществом приоритетности экологического воспитания,
- недостаточность финансирования сферы экологического образования,
- слабое развитие его материально-технической базы,
- слабое развитие научно-методического, психолого-педагогического, информационного и кадрового обеспечения,
- отсутствие эффективного общественно-государственного механизма,
- отсутствие интеграции и координации в деятельности существующих образовательных, природоохранных структур и неправительственных организаций и некоторые другие причины [4].

Экологическая культура получила наибольший импульс для своего развития в эпоху СССР в 60-е гг. XX в. Как раз в то время начался переход от просвещения в сфере проблематики окружающей среды к попу-

ляризации собственно природоохранной деятельности. В середине 90-х гг. XX в. уже под руководством современной России были приняты некоторые нормативно-правовые документы по защите окружающей среды. Экологическое воспитание, просвещение, культура и образование населения были обозначены

в них в качестве приоритетных направлений решения экологических проблем. К началу XXI в. власти обозначили формирование экологической культуры у школьников приоритетным направлением совершенствования системы образования в России [1].

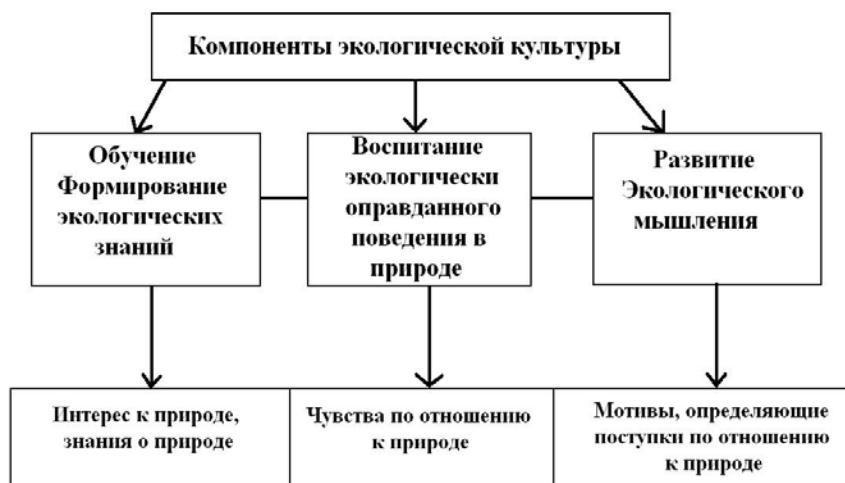


Рис. 1. Составляющие экологической культуры

Однако провозглашенная более двадцати лет назад цель формирования системы непрерывного экологического образования, воспитания и просвещения в России до сих пор не достигнута. В настоящее время социально-экологические вопросы рассматриваются как социально-экономические. То есть на данный момент в России эффективность экономики имеет доминирующее значение над социальной оценкой производства и его влияния на окружающую среду. Для воспитания у населения России экологической культуры в ее классическом понимании, по мнению экспертов, необходима смена текущих экономических приоритетов на экологические императивы. Это станет возможным только в случае преобразования сознания каждого человека в отдельности и системы общественных ценностей в целом.

Формирование экологической культуры в обществе основывается на целенаправленной, постепенной и методичной передаче людям информации о рациональном природопользовании, важности соблюдения экологических правил и требований, личной ответственности за сохранение окружающей среды каждого человека перед нашей планетой и всем ее населением [8].

Для успешного выполнения данной задачи, основываясь на международной практике, необходимо:

- введение в практическую деятельность хорошо проработанной и реально действующей нормативно-правовой базы;
- осуществление экологического воспитания, образования и просвещения в образовательных учреждениях;
- активное развитие экологических навыков;
- повышение личной сознательности граждан.

К сожалению, в России на сегодняшний день наблюдается достаточно низкий уровень экологической культуры, который проявляется в следующих аспектах:

- в экологическом поведении (прагматичная ориентация человека на природопользование, которая существует в настоящее время, должна быть перенаправлена на максимальную гармонизацию отношений человека с природой, а также на активное сбережение и преумножение ее богатств);
- в экологическом просвещении (в современном мире у человека существуют лишь отрывочные знания о природе и взаимосвязи с ней общества, очевидна недостаточная струк-

турированность знаний об изменении в окружающей среде вследствие производственной деятельности человека);

- в вопросах экологического воспитания (на сегодняшний день наблюдается скорее неуважительное отношение к природе, которое сопровождается отсутствием личной ответственности за ее судьбу и слабым пониманием ее красоты, гуманистической сущности, конечности ресурсов) [9].

Экологическую культуру человека невозможно сформировать случайным образом, она нуждается в целенаправленном системном развитии, которое способно побуждать людей к активным действиям по защите и охране окружающей среды. Важнейший аспект деятельности по формированию экологической культуры – это обеспечение активного участия различных слоев населения в развитии положений устойчивого эколого-экономического развития. Таким образом, формирование экологической культуры стоит рассматривать как сложный, длительный и многофункциональный процесс утверждения в образе мышления, чувств и поведения населения всех возрастов следующих аспектов:

- 1) бережного отношения к использованию природных ресурсов, а также зеленых насаждений и особо охраняемых территорий;
- 2) экологического мировоззрения;
- 3) осознанного выполнения экологических правил и требований;
- 4) личной ответственности перед обществом за создание, охрану, сохранение и преумножение благоприятной окружающей среды [8].

В нашей стране развитие экологической культуры, а также экологического образования, чаще всего, осуществляется исследовательскими группами, отдельными организациями и учебными заведениями в инициативном порядке. Нет государственных стандартов для различных уровней экологического образования, испытывается недостаток в кадровом и научно-методическом обеспечении этого процесса.

Если рассмотреть, как реализуется экологическое образование на различных уровнях, то здесь нужно отметить, что для дошкольного образования не разработано никаких обязательных стандартов. В дошкольных образовательных учреждениях, как и в средней и младшей школе, в настоящий момент времени обозначился застой в решении про-

блем формирования экологической культуры. В отдельных образовательных организациях реализуются авторские программы по экологической культуре, воспитанию и просвещению. Если сравнить современную ситуацию с предыдущим периодом то, по мнению специалистов, придется констатировать тот факт, что в настоящее время экологическому образованию и воспитанию на дошкольном уровне уделяется меньше внимания, все зависит от личной заинтересованности педагогов и воспитателей [7].

В школах экологическое образование и культура сегодня затрагиваются в дисциплине «Окружающий мир», а также в естественных и общенаучных предметах. Все они ориентированы на развитие у учащихся экологического мышления, обеспечивающего понимание взаимосвязи между природными, социальными, экономическими и политическими явлениями. В некоторых школах предусмотрена возможность изучения экологии в качестве самостоятельного предмета. А в некоторых регионах применяется подход по «экологизации образования», основанный на разработке и органичном включении в традиционный учебный процесс «экологических» заданий [5].

Объемы подготовки и переподготовки управленческих и производственных экологических кадров в нашей стране незначительны. Также недостаточно используется зарубежный опыт развития систем экологического образования и просвещения. Получаемые населением знания о взаимоотношениях природы, общества и человека явно недостаточны для формирования в будущем целостного миропонимания и экологического мышления. Все перечисленное говорит о том, что необходим новый подход к построению системы развития экологической культуры граждан России всех возрастов [2].

В то же время большинство развитых государств мира давно осознали необходимость экологического просвещения населения и формирования у него экологической культуры в целях обеспечения своей социально-политической, экономической и экологической стабильности. В западных странах экологическое образование и экологическая культура имеют уже длительную историю и опыт, который подкрепляется национальными законами, гарантированными финансовыми взносами, разветвленной инфраструктурой государственных и общественных экологических

организаций. Так, например, в 1990 г. в США был принят национальный Закон «Об образовании в области окружающей среды», в котором сформулированы такие положения, как цели и политика, аппарат управления, основные направления содержания, финансирование, подготовка кадров, структура советов, комиссий, фондов, их полномочия, поощрения в системе экологического образования. Интересен тот факт, что в США, Канаде, Великобритании, Дании, Швеции, Голландии и ряде других западных стран большое распространение получили уроки на природе, выделение в школьном расписании экологических проектных периодов, которые могут иметь продолжительность от одного дня до целых месяцев, а также экологические игры для формирования целостного эмоционального восприятия окружающего мира. В Германии в результате того, что экологическое образование давно стало одной из школьных дисциплин, его влияние уже распространяется в социально-экономическую сферу. Так, например, практически все граждане принимают активнейшее личное участие в решении проблемы утилизации отходов жизнедеятельности. В развитых странах экологическое образование является базовым с позиций требований рынка труда, обеспечения устойчивости и конкурентоспособности. А если экологическое образование и просвещение достигли такого высокого уровня, то можно с уверенностью утверждать, что формирование экологической культуры населения происходит с самых ранних лет [3].

Основные тенденции последних лет

В последнее десятилетие наиболее активно в сфере формирования экологической культуры, а также экологического просвещения и воспитания себя проявляют некоммерческие организации и отдельные представители гражданского общества. Многие некоммерческие организации предлагают свои материалы для педагогов и воспитателей для проведения дополнительных занятий в школе и детском саду на различные экологические темы. Это дает возможность педагогу объяснить детям насущные экологические проблемы, а также возможные пути решения этих проблем и получить дополнительные бонусы при реализации программ дополнительного образования в учебном заведении. При этом такую деятельность педагогов практически

невозможно учитывать на уровне страны, поэтому официальных данных статистики по данным активностям не существует.

Также некоммерческие организации занимаются формированием различных доступных в сети Интернет и на открытых мероприятиях презентаций и материалов, фильмов, проектов, соответствующих современным экологическим тенденциям как в мире, так и в России. Можно сказать, что данные организации создают «моду на экологию», ведь экологический аспект становится неотъемлемым элементом высокого качества жизни.

За счет образовательных и просветительских проектов население получает информацию о том, как важно сделать обоснованный выбор в пользу экологической продукции, о важности рационального использования природных ресурсов и ответственного подхода к отдыху на природе, информацию, связанную с проблемой переработки отходов, экономии воды, электроэнергии и многое другое. Деятельность таких организаций сопровождается локальными акциями по посадке деревьев, очистке водоемов, сбору мусора в городах и прилегающих к ним территорий и т.п. Однако, как отмечают организаторы подобных мероприятий, до сих пор не удается привлечь достаточное количество людей, все-таки для массового продвижения идей экологии необходима активная государственная позиция по данному вопросу, которая на сегодняшний день недостаточно сформирована [6].

Нужно отметить, что в течение 2017 г., Года экологии, во всех субъектах Российской Федерации было проведено множество просветительских и образовательных мероприятий как в стенах учебных заведений, так и для широкой общественности, направленных на формирование экологической культуры у населения. На многочисленных конференциях, которые регулярно проходят в разных городах России, говорилось о важности экологического образования в стране, однако это так и не нашло должной поддержки на соответствующем уровне.

Исследователи экологической культуры в России отмечают три основные тенденции последних лет:

– противоречие между интересом к экологическому образованию со стороны учащихся и педагогов и невозможностью его формальной реализации;

– сокращение количества ученых, педагогов и специалистов в области экологического образования и экологической культуры;

– продвижение неформального экологического просвещения и образования через рекламу, СМИ и формирование «моды на экологию» [6].

Для последнего факта необходимо отметить, что часто экологическое просвещение населения осуществляется непрофессионалами, что ведет к формированию ложного, научно необоснованного экологического мышления. И в этом вопросе стоит учитывать отсутствие профессиональной подготовки у тех, кто транслирует экологические идеи в массы [3].

При этом, если обратить внимание на международные процессы и вспомнить об идеях экологического образования в интересах устойчивого развития, которые уже утвердились в европейских странах, то можно отметить, что фокусировка лишь на экологическом аспекте может вызвать отставание России от международных стандартов образования.

На уровне формального образования отсутствие системного подхода, критического мышления и формирования навыков в принятии рациональных решений, которые основываются не только на аспектах охраны окружающей среды, но и включают социальные и экономические проблемы, могут привести к тому, что граждане нашей страны не будут обладать теми навыками и компетенциями, которые требуются для конкурентоспособности на международном рынке труда [10]. В дальнейшем это будет отражаться и на работе всех отраслей экономики страны, т.к. в развитых странах все более и более широко внедряются принципы устойчивого развития на всех уровнях профессиональной и общественной деятельности. Отсутствие элементов экологического образования и экологической культуры в интересах устойчивого развития в формальном образовании приведет и к отставанию российских компаний от мировых, и им, возможно, придется прибегать к обучению своих сотрудников за рубежом для ликвидации пробелов в знаниях. Отсутствие просвещения в области устойчивого развития на неформальном уровне также имеет негативные последствия, поскольку население нашей страны не будет осведомлено о взаимосвязи всех процессов и явлений, не сможет

осознать свое непосредственное влияние на окружающую среду, в которой мы живем.

Региональный опыт построения системы экологического образования для повышения уровня экологической культуры населения

Интерес к развитию системы экологического образования в г.о. Дубне возник в 2008–2009 гг., когда явно обозначилась проблема захламления территории (выявлено более 120 стихийных свалок), проблемы лесных территорий (замусоривание, наличие несанкционированных кострищ, незаконные рубки и т.д.), водных объектов и малого процента жителей, участвующих в сортировке отходов (на тот момент пилотном проекте Московской области).

С 2009 г. Региональный экологический центр «Дубна» активно занялся экологическим образованием и волонтерской деятельностью по распространению экологических знаний в школах города через своих сотрудников и студентов университета «Дубна», привлекая желающих. С 2010 г. началась реализация проекта «ЭКОШКОЛА» компании «ЭКОСИСТЕМА», ответственной за менеджмент отходов в городе. За 4 года все школы города были вовлечены в просветительскую и конкурсную деятельность. В 2015 г. в государственном университете «Дубна» стартовал проект «ЭкоВУЗ», направленный большей частью на студентов непрофильных направлений подготовки и сотрудников университета. На данный момент все школы города взаимодействуют с университетом «Дубна» по самым разным направлениям, спектр видов деятельности расширяется ежегодно. Если поначалу это были только экологические занятия и акции, то теперь проводится множество конкурсов, экологические игры, экологические конференции и олимпиады, фестивали кино, консультирование научных проектов, работа в летних оздоровительных лагерях школьников. С 2017 г. компания «ЭКОСИСТЕМА» открыла проект «Экосад», который направлен на работу в дошкольных образовательных учреждениях, а с 2018 г. началось сопровождение сотрудниками и студентами университета «Дубна» дошкольных и семейных детских исследовательских проектов.

С 2014 г. сотрудниками и студентами государственного университета «Дубна» выполняются успешные разовые попытки сотрудничества с Домом ветеранов г.о. Дубны.

Планируется активное расширение этой деятельности в проект «Экодом ветеранов». Здесь предполагается проведение экологических встреч-бесед об интересных личностях естественно-научной сферы, кинопоказов с обсуждениями, мастер-классы, подключение участников к проводимым акциям. Этот блок завершит «экологическую образовательную лестницу», выстроенную в городе при участии университета «Дубна» и компании «ЭКОСИСТЕМА»: «Экосад» → «Экошкола» → «Эковуз» → «Экодом ветеранов».

Таким образом, система экологического образования в Дубне развивается по двум основным направлениям, изначально взятым в фокус и сохраняемым все годы своей реализации: образование непрерывное (в течение всей жизни человека) и образование сквозное (при любом уровне образования и при любом направлении профессиональной деятельности человека).

Эффективность работы этой развивающейся системы подтверждается снижением количества несанкционированных свалок в Дубне: летом 2018 г. выявлено менее 60 свалок, снижено количество возгораний в лесных кварталах.

Что касается социологической составляющей, то следует отметить увеличение числа жителей, участвующих в различных мероприятиях, и числа горожан, включенных в раздельный сбор отходов. Так, согласно социологическому опросу лета 2018 г., жители г.о. Дубны считают, что город достаточно чистый (75,6% респондентов), что мусорных урн и контейнеров достаточно количество (72,1% респондентов), сами контейнеры удобны в использовании (84,3% респондентов), а про переработку отходов известно большинству опрошенных (84,7% респондентов), более то-

го, жителям об этом целенаправленно рассказывали в школе или на специализированных встречах (60,6% респондентов). Важно отметить тот факт, что наименьший процент жителей, осведомленных о проблемах отходов, выявлен в Институтской части города – спальном районе Дубны с наименьшим числом образовательных учреждений, молодых семей, районе, где проживают в большинстве случаев пожилые люди. Это можно объяснить тем фактом, который уже упоминался: на данный момент работа со старшим поколением еще не поставлена на должном уровне.

Наличие несанкционированных свалок в городской черте (рис. 2) большинство респондентов (60,6%) связывают с недостаточно высоким уровнем культуры населения, хотя в 100% случаев опрошенные отмечают беспрецедентное снижение их количества в последние 15 лет. Интересно отметить тот факт, что 27,2% респондентов (более четверти опрошенных) связывают наличие стихийных свалок с недостатками экологического управления: отходы редко вывозят, работники сферы ЖКХ выполняют свою работу ненадлежащим образом, на улицах недостаточно мусорных урн и т.д., т.е. присутствует фактор неприятия ответственности лично на себя.

Таким образом, в г.о. Дубне в ближайшие годы следует ориентировать систему экологического образования на освещение проблемы отходов: их экологии, возможностей вторичного использования, перспектив и сложностей, а также вопросах возможностей личного участия в решении экологических проблем, прав и обязанностей каждого гражданина в области охраны окружающей среды и повысить активность в работе со старшим поколением.

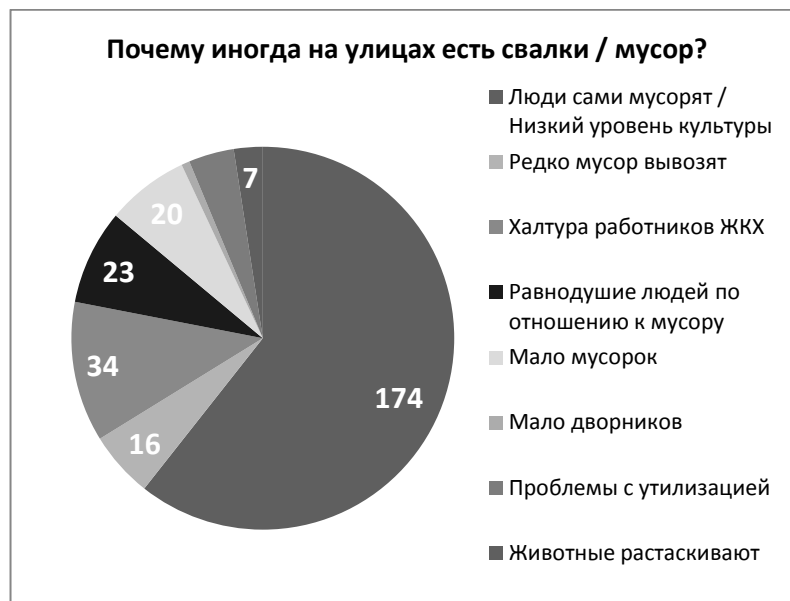


Рис. 2. Причины появления захламлиений и несанкционированных свалок в г. Дубне

Заключение

Экологическая культура является частью общей культуры, направлена на выстраивание гармоничных взаимоотношений между человеком и окружающей средой, организацию любой деятельности в соответствии с основными законами природы и принципами устойчивого развития общества.

Основной движущей силой роста уровня экологической культуры является экологическое образование, от системы образования зависит сама возможность выживания человека, в его основе должен быть заложен потенциал переориентации человеческого сознания, перестройки менталитета. В течение жизни каждый житель планеты Земля должен получить основные знания о биосфере и ноосфере, принципах устойчивого гармоничного развития, роли природы в функционировании всей планетарной системы и т.п., т.е. экологическое образование должно быть непрерывным и сквозным.

На многих урбанизированных территориях жители вовлечены в обсуждение качества и состояния окружающей среды, но сами не активно участвуют в мероприятиях и деятельности, направленных на защиту среды от негативного воздействия и сохранение ее качества, возлагая ответственность на органы местного самоуправления, снимая с себя ответственность за происходящее.

Вовлеченность жителей урбанизированных территорий можно повысить, развивая

систему непрерывного и сквозного экологического образования. Однако это требует значительного периода времени (не меньше 30 лет для небольшого российского города), инициативы, постоянно действующего ядра, волонтерства и поддержки со стороны профессионалов в сфере экологии и природопользования, администрации муниципалитета и других органов власти. Бизнес-структуры также могут играть положительную роль в развитии системы.

Эффективность деятельности в рамках системы экологического образования должна подтверждаться как экологическими, так и социальными критериями.

Библиографический список

1. Гирусов, Э. В. Восхождение к экологической культуре: необходимость и сущность // Библиотечное дело. – Санкт-Петербург, 2010. – № 3 (117). – С. 7–11.
2. Дагбаева, Н. Ж. Школьное экологическое образование для устойчивого развития местного сообщества // География и экология в школе XXI века. – 2004. – № 7. – С. 36–42.
3. Дорошенко, О. М. Формирование экологической культуры как цель образования для устойчивого развития : монография. – Гродно : ГрГУ им. Я. Купалы, 2010. – 303 с.
4. Кузнецов, Л. А. Проблемы управления экологическим образованием // География и экология в школе XXI века. – 2004. – № 9. – С. 23–27.
5. Мамедов, Н. М. Теоретические основы экологического образования // Экологическое об-

разование и устойчивое развитие. – Москва, 2009. – 157 с.

6. Рыбальский, Н. Г. Экологическое образование в Российской Федерации – путь длиной в 25 лет: история, состояние и перспективы / Н.Г. Рыбальский, Е.Д. Самотесов, Е.В. Колесова // Использование и охрана природных ресурсов в России, 2016. – № 4. – С. 75–82.

7. Соломенникова, О. В. Диагностика экологических знаний. // Дошкольное воспитание. – 2004. – № 7. – С. 21–27.

8. Ясвин, В. А. Формирование экологической культуры. – Москва : Акрополь, 2004. – С. 3–14.

9. Сайт статей для высших учебных заведений / Проблема формирования экологической культуры. – URL: https://bstudy.net/657553/estestvoznание/formirovanіe_ekologicheskoy_kultury (дата обращения: 20.10.2018).

10. Научные статьи Казахстана / Статьи / Педагогика / Сущность понятия экологической культуры и проблема организации экологического образования. – URL: <https://articlekz.com/article/5639> (дата обращения: 18.10.2018).

*Поступила в редакцию
19.07.2019*

УДК 004.925.83, 902.4

В. С. Степченков, С. В. Валганов

Опыт эффективной фотограмметрии дольменов Кавказа в условиях максимально ограниченных ресурсов

Приведен полевой опыт фотограмметрической съемки и обработки объектов дольменной культуры Кавказа. Авторы работы поставили перед собой цель выработать простую методику создания качественных трехмерных моделей в условиях с ограниченными ресурсами. В связи с чем была сделана выборка из малоизученных и труднодоступных групп с интересными культовыми и техническими элементами. Объекты находятся в Туапсинском районе: на хребтах Мезецу, Бзеульс и в верховьях реки Псынако. В результате мы получили восемь высокоточных моделей: семь отдельных сооружений и модель группы из трех дольменов в общем кургане. Также в статье раскрыты некоторые особенности методологии сбора и обработки полевых данных. Нам представляется, что этот опыт может быть востребован не только в археологии, но и в других направлениях с аналогичными сложностями фиксации объектов.

Ключевые слова: археологическое наследие, фотограмметрия, 3d-моделирование, Пшенахо, Бзеульс, Мезецу, дольменная культура Кавказа, эпоха средней бронзы, Кавказ, дольмен

Об авторах

Степченков Владимир Сергеевич – студент кафедры общей и прикладной геофизики государственного университета «Дубна». E-mail: nemzis88@mail.ru. г. Зеленоград д.1512 кв. 521.

Валганов Сергей Владимирович – старший научный сотрудник АНО «Мегалитический клуб».

Введение трехмерных моделей в научный и инженерный оборот открыло новую веху в способах представления информации. 3D-модели наглядны, просты для понимания и удобны для анализа. Развитие технологий в конце прошлого века сделало метод фотограмметрии одним из инструментов для создания моделей. Метод основан на анализе и сопоставлении множества изображений. В настоящее время по всему миру с помощью фотограмметрии выполняется самый широкий спектр научных и инженерных изысканий. Например, согласно данным *International Society for Photogrammetry and Remote Sensing*, прошло не менее 11 научных симпозиумов по всему миру только за 2018 год, посвященных самым разнообразным исследованиям по этой и смежным тематикам.

Особое место фотограмметрия занимает в археологии. Относительная простота метода и легкость в использовании спровоцировали бурный рост работ и экспериментов в этой области, начиная от создания моделей небольших объектов, вроде каменных орудий или керамики [19; 20] которые снимаются в лабораторных или студийных условиях, до создания моделей уникальной архитектуры

[15; 16; 18; 22; 23], крупных археологических памятников и городов [14]. Также метод понемногу проникает и в более труднодоступные полевые условия: например, съемка пещерного комплекса в джунглях Мексики [21].

Иногда фотограмметрию сравнивают с методом лазерного сканирования. В настоящее время вопрос «что же лучше и точнее?» носит дискуссионный характер [1; 13; 17]. Однако, можно отметить, что при переходе к сложным полевым условиям, метод лазерного сканирования становится более требовательным к ресурсам, чем фотограмметрия.

В России метод фотограмметрии также набирает популярность, в том числе, и в археологии [3]. В последнее время ведутся работы в полевых условиях с крупными площадными съемками [8; 9; 10]. За рубежом большинство проектов могут быть ресурсоемкими (в смысле доступности энергетических, сетевых и людских ресурсов), большие же и труднодоступные области – это российская специфика. В связи с этим для нашей территории разработка методологии съемки объектов в условиях ограниченных ресурсов и гигантских необжитых пространств становится одной из первостепенных задач. Также можно заметить, что в силу универсальности метода фотограмметрии решение данной задачи выходит за пределы археологии и вполне приме-

нимо и в других науках, таких как этнография, геология, биология и прочие.

С точки зрения фотограмметрии, объекты дольменной культуры Кавказа почти идеальны для съемки. Основные маркеры культуры – дольмены. В основном это надземные сооружения, многие из которых имеют хорошую сохранность в сочетании с труднодоступным расположением, следствием чего является недостаточная изученность некоторых районов.

Дольменная культура Кавказа была выделена из майкопской культуры в середине прошлого века В.И. Марковиным и Л.И. Лавровым [6; 7] и относится к эпохе средней бронзы (2–4 тыс. до н.э.). Территория распространения культуры – лесистая северо-западная часть Кавказских гор и предгорий. Большое разнообразие в типах сооружений и множество необычных культовых и технологических элементов накладывают на метод ряд требований. В частности, особое внимание должно быть уделено деталям, которые могут вызвать трудности интерпретации.

В данной работе мы представляем накопленный за два полевых сезона опыт по разработке методологии съемки и результаты обработки полученных моделей.

Верховья долины реки Пшенано заинтересовали нас дольменной группой, в которой три малоизученных и практически целых сооружения стоят в едином кургане. При планировании съемки они рассматривались как удачный объект для создания общей модели группы. А дольменные группы хребта Мезецу характерны уникальной концентрацией в них нестандартных технических решений и культовых особенностей. Регион в разное время исследовали М.К. Тешев, В.И. Марковин, А.И. Шамотульский, Н.В. Кондраков, М.И. Кудин, С.В. Валганов, А.В. Баранюк [2; 4; 5; 6; 7; 12], но в силу сложной местности он остаётся слабо изученным. Подтверждением может служить найденный нами в процессе оптимизации пути на очередную группу целый одиночный дольмен (рис. 1д), аналогов которому почти не оказалось в дольменной культуре Кавказа.

Методология работ

До экспедиций был поставлен ряд экспериментов, которые помогли определиться в стратегии и общих аспектах съемки. Эксперименты и работа происходили в программе *Agisoft PhotoScan* с версиями, начиная с 1.2.0

до 1.5.0 (последняя версия в настоящее время уже носит название *Agisoft Metashape*). Общая философия программы мало чем отличается от большинства похожих продуктов для фотограмметрии. Создание модели разделяется на ряд задач, которые выполняются либо на персональном компьютере, либо посредством тех или иных технологий с помощью связанных по сети компьютеров (кластеров), либо удаленно. Задачи разделяются на выравнивание фотографий, построение плотного облака, создание полигональной модели, создание текстур. Далее идут более специфичные и особые задачи.

Первичное выравнивание фотографий является ключевым аспектом к созданию высокоточной модели. Поэтому много внимания уделяется качеству кадра. Работа программы происходит по принципу поиска и сопоставления общих точек на двух и более фотографиях. Следовательно, чем на большем количестве снимков видна условная точка, тем точнее она будет позиционироваться в пространстве. Отсюда легко выстраиваются общие принципы съемки, которые обычно и присутствуют в рекомендациях. Каждая условная точка объекта должна быть сфотографирована не менее, чем с трех ракурсов. От типа объектива зависит форма перспективы и, следовательно, различается расчет геометрии и ошибки. Поэтому же фотоаппарат необходимо ставить перпендикулярно к снимаемой поверхности. Сам объект должен быть хорошо освещен, чтобы получался качественный детализированный кадр. В процессе фотографирования нежелательно менять взаимное расположение предметов. Запрещено использование вспышки и обработка фото в редакторах.

Не каждый объект подходит для создания модели. Опираясь на вышесказанное, общие рекомендации разработчиков и поставленные нами эксперименты, можно вывести следующие правила: для моделирования плохо подходят полупрозрачные, прозрачные, бликующие, светящиеся, слишком темные или засвеченные поверхности. Другими словами, любой объект или поверхность, у которых с двух соседних ракурсов невозможно найти общие точки. Объекты, которые в силу условий освещения или строения не имеют четких контрастных черт, также плохо поддаются оцифровке.

Стоит отметить, что, следуя этим рекомендациям, фотограмметрическая съемка не

имеет почти ничего общего с обычной художественной или предметной съемкой. Обычно фотограф работает над эстетической частью образа. Съемка же для фотограмметрии является фактически сканированием объекта с помощью фотоаппарата. Соответственно, чем крупнее перспективный масштаб, чем лучше освещение, чем четче границы, тем лучше. Однако даже начинающие фотографы уже имеют некоторые привычки, приводящие к ошибкам в съемке. Например, изменение фокусного расстояния. Для съемки рекомендуется использовать статическое фокусное расстояние (если речь идет об объективе с переменным фокусом), что не всегда удается выдерживать при многочасовой работе, потому что каждое новое фокусное расстояние в проекте будет калиброваться, соответственно, это приведет к дополнительным ошибкам.

Работы происходили в горной местности в густом широколиственном лесу. Деревья вырастают здесь высотой до 30–40 метров и, как правило, сопровождаются мелким густым подлеском высотой до 6–7 метров. Для съемки использовался *Nikon D5100* и в следующей экспедиции *Canon EOS 1100D*, оба фотоаппарата были с родными (китовыми) объективами 18–55 мм.

Первые опыты по съемке производились на уникальном комплексе хорошо сохранившихся, компактно стоящих дольменов. Тут были опробованы общие методы, и поставлен ряд экспериментов. В последующем была подобрана серия уникальных дольменных групп с необычными техническими и культовыми особенностями. Из них для съемки выбиралось то сооружение, которое отвечало нескольким параметрам: сохранность, уникальность, сложность расчистки и длительность предполагаемой съемки в зависимости от предполагаемого времени. Поэтому не все интересные объекты попали в работу.

Съемка объектов в рамках задачи сильно зависит от погоды, т.к. последняя влияет на освещенность объекта. В общем виде можно сказать, что, с точки зрения освещения, для фотограмметрии в полевых условиях почти не бывает идеальных моментов. В летний период по объектам перемещаются солнечные пятна и тени, а листва на заднем фоне создает большое количество шума в модели. Эта же листва в другой момент может поглощать свет, и на

рабочей площадке становится темно, что требует использовать дополнительные средства. Неожиданным обстоятельством стал тот факт, что в ясную погоду в период с поздней осени по весну также возникают трудности, но уже из-за отсутствия листвы – объект попросту зашумлен множеством теней от деревьев, и значительно укорочено рабочее время для съемки во время сумерек (которое активно использовалось нами в полевой работе).

Освещенность, таким образом, сильно влияет на сборку модели. Засвеченные, темные, смазанные участки фотографий будут создавать искажения или дополнительные несуществующие поверхности в модели, усложняя и увеличивая расчет.

Перед описанием самой методологии необходимо раскрыть еще один ключевой аспект съемки, а именно работу со специальными бумажными метками (марками). В программном обеспечении имеется возможность выставить виртуальный маркер на фотографию, это разработано для облегчения процесса выравнивания. Суть его заключается в том, что между одинаковыми точками на разных ракурсах создается связь, которая в зависимости от разных факторов будет интерпретирована как «ошибочная» или как «верная». Так вот, с помощью маркера такой связи вручную будет присвоен статус «верная». Таким образом пользователь и помогает программе выставить фотографии (рис. 1а). В зависимости от ситуаций виртуальные маркеры работают как в положительную, так и в отрицательную стороны.

Естественным продолжением работы с такими виртуальными маркерами в проектах стало использование специальных бумажных меток (марок), которые располагаются в реальности в пределах сцены, и которые было бы удобно искать на фотографиях. От *Agisoft PhotoScan (Metashape)* имеется готовое решение: метки с заданными параметрами возможно распечатать и разместить в пределах сцены, после чего автоматика должна значительно упростить процесс выравнивания. Однако, исходя из предполагаемых трудных полевых условий и нескольких неудачных экспериментов, проведенных вне экспедиций, возникли сомнения в использовании готового решения.

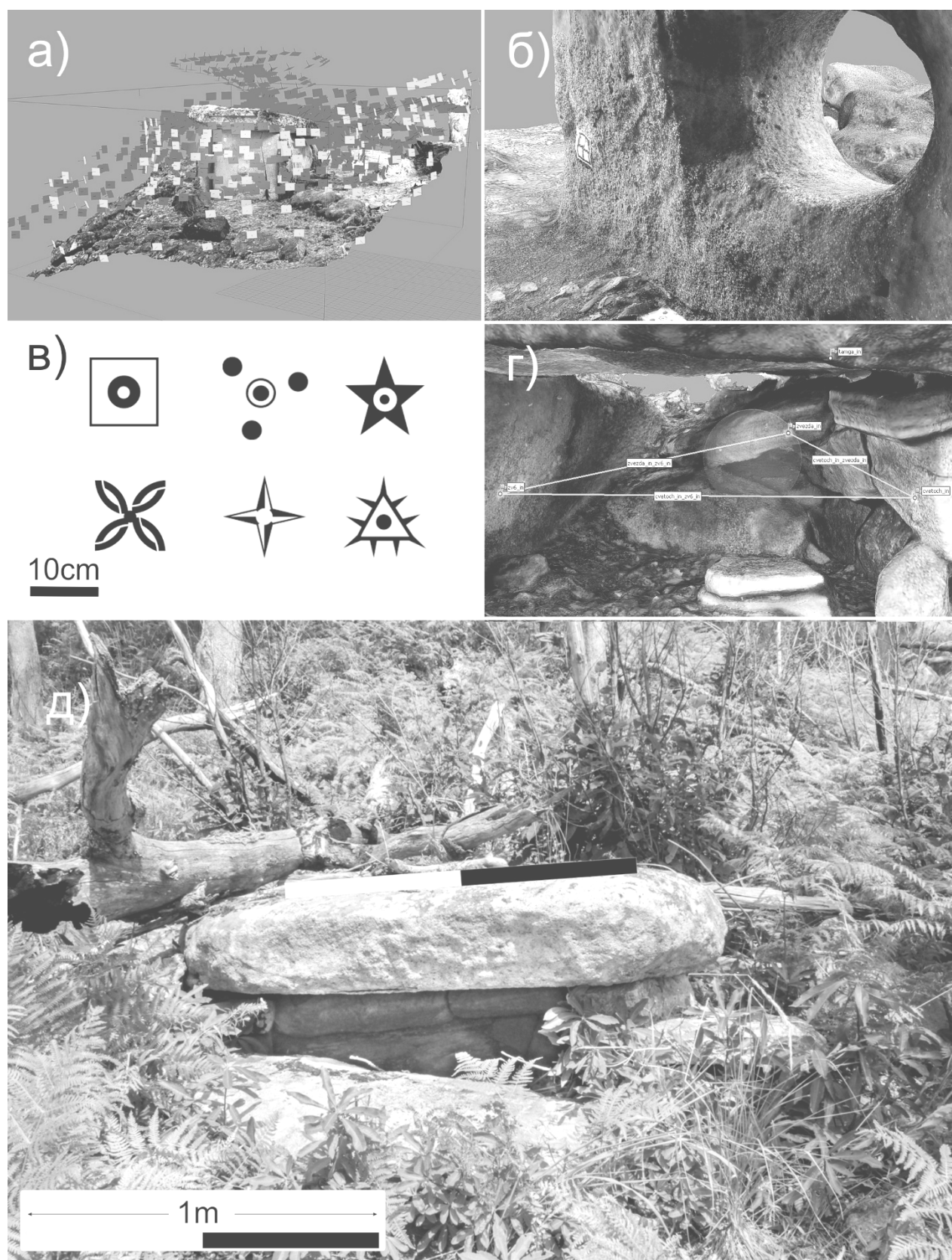


Рис. 1. (а) выровненные фотографии вокруг дольмена №1 группы Кокукай; (б) метки внутри модели дольмена №2 группы под скалами Рыбалко; (в) примеры меток с дополнительно акцентированными центрами; (г) маркеры в модели составного дольмена группы Спунетам, соединенные масштабными линиями; (д) составной дольмен, найденный при разведке пути

Были разработаны собственные метки из удобных символов геодезических и геологических специализированных шрифтов. Выбирались симметричные символы, к которым добавлялись центры в виде круга (рис. 1а, на рис. 1б изображены метки на готовой модели дольмена). Теперь же, разместив в пределах сцены уникальную метку в какую-то часть объекта, независимо от ракурса, было легко определить, с какого места была сделана фотография из массива. Вместе с уникальными метками мы получили ещё и уникальные названия маркеров, что сильно упростило работу по их расстановке и созданию масштабных линеек (рис. 1з). Масштабные линейки создаются на основе измеренного расстояния между двух меток. Измерения на объектах проводились цифровым лазерным дальномером *Bosh*.

Фотографирование одного сооружения происходило, как правило, целый день. Иногда к объектам делался радиальный выход из-за невозможности разбить поблизости лагерь. В таких случаях съемка велась несколько часов, и план съемки продумывался с упреждением на возможные трудности, в зависимости от условий.

Съемка велась по следующей методологии. Сначала происходила расчистка территории и сооружения. Площадь расчистки была равна границам кургана (так как сооружение и курган рассматривались как комплекс). Следом на объекты расклеивались специальные метки (10–25 шт. на объект). На каждом сооружении проводилось от 3 до 6 измерений между разными метками, несколько из этих измерений делались насколько возможно ортогональными по отношению друг к другу. Ортогональность для масштабных линеек была введена для получения информации об ошибке параметров объекта.

У сооружений всегда есть места, в которые никогда не попадает естественный свет. Для съемки таких мест использовалось рассеянное освещение. Для подсветки был взят 20-диодный прожектор *Solar-EP20* и небольшой фонарь с накладками тонкого поролона. Фотограф выставлял кадр и подсказывал помощнику, куда направить свет. Задача для работы с подсветкой – добиться эффекта равномерного освещения для всех ракурсов.

План съемки за время двух экспедиций претерпел ряд изменений. Основные изменения коснулись последовательности кадров

и работы с естественным освещением. Если в начале съемка велась по принципу «одна позиция – один снимок», а ясная погода использовалась для съемки темных мест объекта, то в последующем принцип сменился на «одна позиция – несколько снимков разной высоты (от земли, с колен, от груди и на вытянутых вверх руках)», а во время ясной погоды съемка прерывалась (если это не радиальный выход). Это позволило избавить процесс от некоторой хаотичности, уменьшить количество ошибок и разделить работу на две части. Первая часть – съемка общих планов, кургана, обломков породы в пределах сцены и внешних деталей сооружения (отверстие, барельефы, ложные пробки и прочее). Вторая часть – съемка камеры сооружения и её деталей (отверстие, пазы и т.д.). Съемка камеры велась по методу работы с помещениями, прописанному в общих рекомендациях. Значимым технологическим и культовым элементам уделялось отдельное внимание.

Рассмотрим теперь несколько экспериментов. Во время первых опытов одна из задач заключалась в том, что необходимо было каким-то образом свести к минимуму проблему совмещения освещенных внешних и темных внутренних деталей объекта. С этой целью метки расставлялись таким образом, чтобы при фотографировании их было видно на внешней стороне и в камере дольмена одновременно (рис. 1б). Также часть снимков была посвящена переходу из внешнего окружения внутрь объекта и обратно. Таким образом, задача была решена успешно.

На одном из сооружений экспериментировали с созданием искусственной тени в ясную погоду, но это себя не оправдало из-за сопоставимых размеров объектов и всегда присутствующего заднего фона с движущимися тенями. В целом работа с искусственной тенью усложняет съемку в несколько раз, т.к. в пределах сцены задействуется большее количество людей и предметов, которые не должны попадать в кадр. При сконцентрированной многочасовой работе возрастает вероятность случайных, трудноуловимых ошибок.

Растительность на объекте напрямую влияет на качество модели. От идеи полной расчистки отказались. Объекты только проверялись на наличие каких-то скрытых под мхом культовых или технических особенностей. Однако возникшие проблемы при обработке заросших сооружений заставили внима-

тельнее относиться к разного рода мелкой растительности: в одном случае она могла выступать в качестве неплохих ориентиров для выравнивания фотографий, а в другом – быть полной противоположностью и приводить к всплыванию поверхности, расхождению и искажениям. Решением стала стрижка растительности на сооружениях. Таким образом, срезалось всё, что свисало с перекрытий, стен, накопилось в углах или было слишком объемным.

Сборка всех моделей, кроме модели группы, велась на компьютере *Intel CORE i5*, 16Gb ОЗУ, *GIGABYTE GeForce GTX 750 Ti*. Компьютерное оборудование для создания модели группы было собрано на базе кафедры общей и прикладной геофизики в государственном университете «Дубна». Для обработки модели группы сооружений в общем кургане был собран кластер из 10 машин (*Intel CORE i5*, 8Gb ОЗУ, *Intel® HD Graphics 4600* 2Gb). В последующем также был задействован стационарный компьютер с параметрами *Intel CORE i5*, 16Gb ОЗУ, *GeForce GTX TITAN* 14Gb. Обработка моделей, подготовка сечений, освещение, иллюстрации особенностей объектов проводились в программе *Blender*. Виды в режиме *x-ray* были подготовлены в *MeshLab*.

Группа под скалами Рыбалко

Группа расположена на правом берегу реки Пшенахо под вершиной Кашина на высоте 780 метров примерно в 11 километрах к юго-востоку от посёлка Анастасиевка (южный склон Главного Кавказского хребта). В группе семь сооружений самого распространенного на Кавказе типа – плиточного. Пять сооружений стоят в ряд в одном общем кургане, три из них целые. Один разрушенный дольмен располагается выше по склону от общего кургана и один разрушенный ниже. Существует некоторая путаница в археологических данных, поэтому объекты иногда носят названия «Псынако» с разными индексами. Для съемки были выбраны три уцелевших объекта, стоящих компактно в одном кургане, что само по себе является большой редкостью (сооружения 2, 3, 4 на рис. 2). Расстояние между этими сооружениями не превышает пяти метров.

У выбранных для съемки объектов наличествуют интересные особенности. У дольмена № 3 в нижней юго-восточной угловой части перекрытия сохранилось вытесанное продолжение боковой и фасадной плит (рис. 2а).

У дольмена № 4 вытесана специальная щель между фасадом и перекрытием (рис. 2б). Нечто аналогичное последнему наблюдалось нами во время работы с малоизученной дольменной группой Псегеф 1041, расположенной на высокогорном плато под вершиной Псегеф, а также в небольшой группе Каримет-Имеш. Под аналогом понимается дополнительное отверстие, не предусмотренное устоявшейся конструкцией, которое выбивается из канонов устройства дольменов. Возможно, эти элементы возникли в более позднее время и к дольменной культуре Кавказа уже не принадлежат.

Ориентируясь на границу кургана, в котором стоят объекты, была расчищена территория площадью около 110 м². Расчистка длилась около 42 человеко-часов. Был удален мелкий кустарник, выдолота ежевика, разобраны и распилены завалы из крупных упавших деревьев. Верхняя часть перекрытия дольмена № 4 в качестве эксперимента была полностью очищена от листвы и мха и в дальнейшем водой была смыта скопившаяся на перекрытии земля. Предположение, что обработка такого объекта будет проще, чем обработка объектов со мхом, в последующем оказалось верным.

Съемка проходила поэтапно в течение пяти дней от дольмена № 2 к дольмену № 3 и следом к № 4. Во время ясной погоды съемка перемещалась в камеры сооружений, т.к. туда попадало больше света. У дольменов № 2 и 3 проломаны северные боковые стены, у дольмена № 4 упала задняя стенка. Поэтому свет проникал туда не только через отверстие. Самые затененные места объектов подсвечивались рассеянным светом или использовался бреккетинг. (При сборке моделей бреккетинг использовать не удалось, т.к. редакторы меняли дисторсию фотографии после сборки снимка.)

Перед началом работ с проектом группы модели дольменов были собраны отдельно друг от друга для того, чтобы посмотреть общую сходимость. Рендер объектов происходил в среднем качестве (высокое на стадии выравнивания фотографий), среднее количество полигонов – 1,2 миллиона. Суммарное время работ – порядка 330 часов (около двух недель). Результаты работ по этим сооружениям были освещены в докладе на конференции в Дубне [11]. Особенности работы с отдельными сооружениями в целом совпадают

с особенностями работы с группой, поэтому они обобщены ниже.

Проект группы получился из 1746 снимков, 170 фотографий были отсеяны, на рис. 2 показаны группа и её модель. Подавляющее большинство отсеянных фотографий – это ракурсы, сделанные с близкого расстояния (около полуметра и меньше). Вообще, в проекте много кадров с ближним ракурсом, которые программа без проблем позиционировала. Отброшенные же фотографии здесь можно условно разделить на несколько групп. Первая группа (самая многочисленная) – это ракурсы, сделанные под слишком большим углом к поверхности. Часто бывает так, что точек пересечения с такими фото много (до 1500), а ракурс все равно не позиционируется. Эти фотографии при наличии каких-то ярких деталей получалось успешно позиционировать вручную. Вторая группа – это ракурсы, снятые против света. Сюда попали фотографии, сделанные в темной камере дольмена в сторону отверстия или пролома, и фотографии, сделанные снизу вверх с ракурсом на нижнюю поверхность перекрытия против светлого неба – на этих фотографиях просто слишком темно. Третья группа фотографий – это засвеченные снимки. Такие фото пришлось убирать из проекта. Они позиционировались без проблем, но создавали внутри объекта не существующие в реальности поверхности. Последняя группа (самая малочисленная) – это фотографии земли в камерах дольменов. В общем виде в дольмене всегда что-то лежит: листья, ветки, щебень и прочее. В нашем случае камеры дольменов были завалены листьями. За время съемки почти невозможно сделать так, чтобы не изменить положения этих предметов, т.к. в камере довольно тесно для фотографа со штативом или с помощником.

Много трудностей возникло с наклеенными на объект метками. Съемка планировалась длительной, поэтому метки расставлялись на объекты поэтапно и непосредственно перед съемкой. Это было обусловлено двумя факторами: первый – непредсказуемость погоды, второй – довольно влажный микроклимат. То есть, если расклеить метки на всю группу разом, в ближайшее время может измениться влажность, и часть меток просто слетит. Упавшие метки в таком случае могут испортить всю съемку, т.к. точно в то же ме-

сто их уже будет не поставить. Сооружения находятся довольно близко друг к другу и, снимая один объект, невозможно не заснять соседний. Следовательно, на этапе сведения объектов друг с другом в группу, вероятность ошибки будет выше, т.к. количество слетевших меток неконтролируемо будет снижать качество съемки. Расклеивая же метки поэтапно, легче контролировать процесс съемки.

От части созданных линеек пришлось отказаться, так как некоторое количество меток слетело. Итог работы с метками: из 47 меток, расклеенных на группу, было использовано 16 в качестве маркеров для выравнивания, и осталось 5 из 16 масштабных линеек.

Во время создания моделей трудности вызвал мох, который занимал значительные площади перекрытий сооружений № 2 и 3. Он пышный, достаточно однородный, без контрастных границ и скрывает геометрию сооружений. Это приводит к ошибкам геометрии в виде закипания поверхности, «паутины» в углах, «слипания» соседних деталей объектов и прочих ненужных артефактов. Дефектные точки в плотном облаке были удалены вручную, но это помогло лишь частично. Только обработка дольмена № 4 на этом этапе прошла без особых трудностей, т.к. во время расчистки весь мох с перекрытия был удален. Однако в местах, где мох занимал незначительную площадь и вырос не таким пышным, например, на контрфорсах дольменов или боковых стенах сооружений, его наличие не было настолько значимым. В некоторых случаях мелкие полосы мха или даже пятна лишайника создавали контрастные границы на поверхности. Это использовалось как ориентиры для выставления вручную дополнительных маркеров для позиционирования фотографий и облегчало работу.

Трудности обработки были предсказуемы. Поэтому делалось заведомо избыточное количество снимков, а также большое количество маркеров и измерений. Работа с проектом группы на компьютере заняла около 340 часов (в районе 2 недель). Суммарный рендер финальной модели занял 90 часов. Количество кадров перекрытия – более 9 на каждый узел модели.

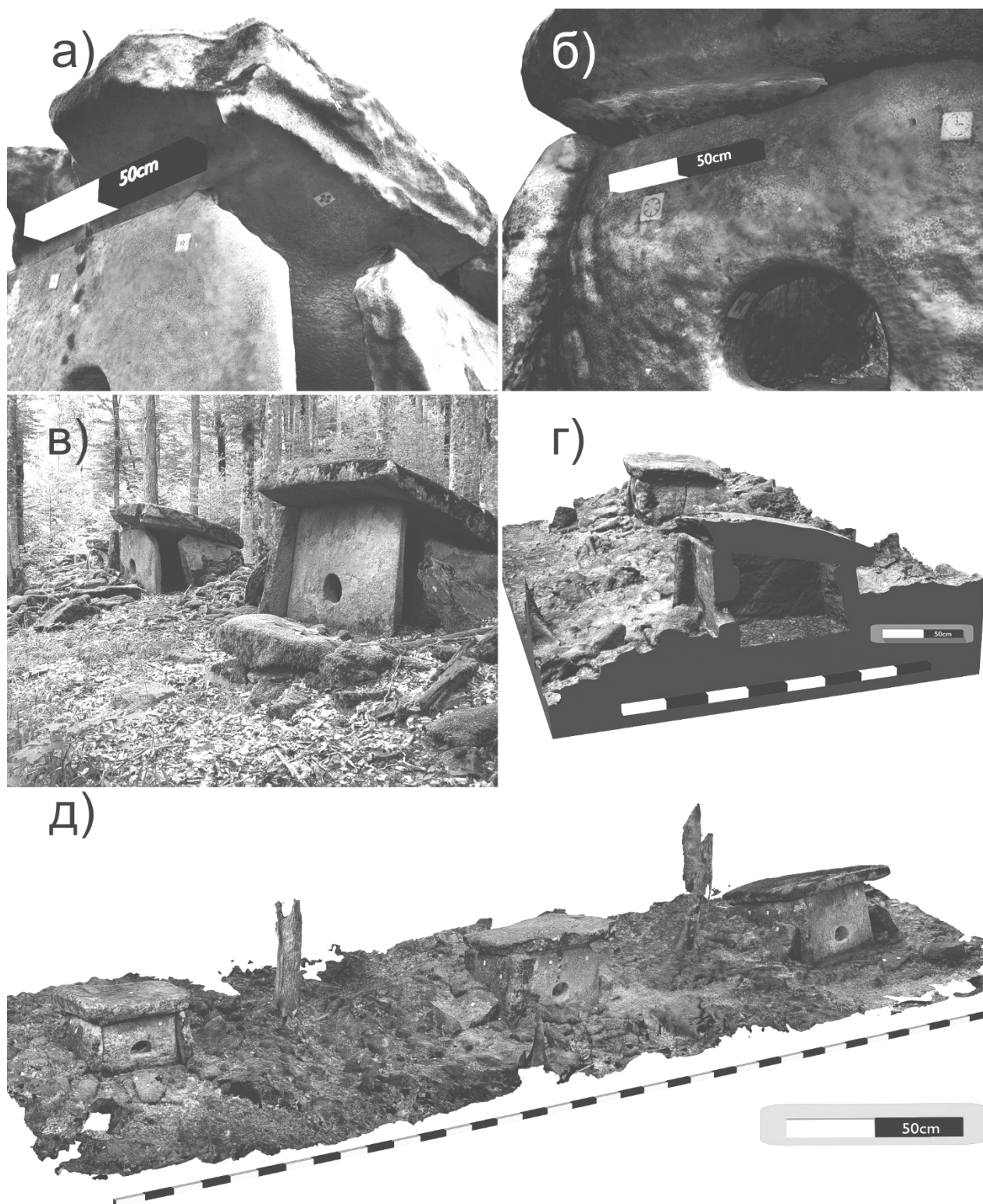


Рис. 2. Модель части группы под скалами Рыбалко (долина Пшенахо): (а) вытесанное продолжение плит в основании перекрытия дольмена №3; (б) элемент неясного назначения в фасадной плите дольмена №4; (в) фотография группы, ракурс с северо-востока на дольмен №2; (г) сечение общего вала курганный кладки по дольмену №3; (д) общая модель трех сохранившихся сооружений группы в общем кургане

Группа Кокукай

Группа Кокукай расположена в 3 км к востоку от поселка М. Псеушхо на западном

склоне хребта Бзеульс. В группе три плиточных дольмена разной степени сохранности. Целое сооружение № 1 относится к типу лож-

нопортальных плиточных дольменов, которые очень редко встречаются в дольменной культуре Кавказа. Дольмен № 2 сильно перекошен, опрокинута задняя и фасадная стенки. Дольмен № 3 разрушен.

Сохранившийся дольмен № 1 (рис. 3) был выбран в качестве объекта для съемки. Сооружение располагается на небольшом отроге, заканчивающемся естественным возвышением около трех метров высотой. Интересен объект следующими деталями: отверстие находится в восточной задней стенке, на фасадной западной плите хорошо сохранилась ложная пробка. Также в западной части перекрытия, в торце, вытесан паз. Кроме того, объект в отличном состоянии, не считая пролома в крыше, трещины в ложном фасаде, обломанных углов перекрытия и плиты, вышедшей из паза.

Для расчистки была выбрана территория около двух-трех метров от дольмена. Сюда вошёл курган, крупные обломки сооружения и неясные части конструкции, которые могут принадлежать как дольмену, так и кургану (рис. 3е). Сильных зарослей не было, расчистка происходила стандартно и быстро: уборка упавших мелких деревьев и выпалывание зарослей ежевики. Работа заняла 4–5 человеко-часов. Для съемки были на месте нарисованы, а затем расклеены на объект метки в количестве 9 штук. Между наклеенными метками были измерены три расстояния: одно в камере дольмена между боковой и фасадной стеной, одно между метками на фасадной стене и одно между метками на боковой южной стене.

Съемка продолжалась около 1,5 часов. Процесс съемки проходил при переменной солнечной погоде. Переменная облачность – не самое удачное время для съемки в лесу, но удаленность базового лагеря и особенности маршрута не позволили нам выбирать погоду. Позднее, в процессе создания текстуры, были удалены фотографии с солнечными пятнами, но дефекты все равно можно наблюдать в камере модели сооружения.

За время съемки было сделано 1144 фотографии, в обработку попали 1127 снимков. Программой были отсеяны снимки с очень близкими ракурсами, фотографии с бликами от солнца и нечеткие фотографии, так же как и несколько фотографий, сделанных снизу вверх на нижнюю часть перекрытия. Особенность съемки – темная камера дольмена. Объект хорошо сохранился, поэтому свет попада-

ет внутрь только через пролом в перекрытии. Отверстие довольно близко к земле и направлено в склон, поэтому существенно не добавляет освещения.

Обработка заняла около 70 часов, рендер финальной модели – 30 часов при средних настройках. В результате получилась модель в 7 233 339 полигонов. Взаимное перекрытие – более девяти снимков для каждого узла модели. Интересная деталь: стены объекта выпуклые, поэтому расстояния между метками измерялись не вдоль поверхности, а с некоторым выносом. Дальномер позволяет выносить точку отсчета. Поэтому в финальной модели масштабные линейки располагаются не вдоль поверхностей, а внутри стен.

На рис. 3 изображен дольмен и его модель. Стены дольмена выпуклой формы, что хорошо видно на рис. 3д в режиме *x-ray*, и толщиной порядка 35 см. Перекрытие чуть массивнее, порядка 40 см толщиной. Хорошо сохранилась ложная пробка, изображенная на рис. 3а, в, и диаметром порядка 25 см. Со стороны камеры фасадная стена гладкая. Овальное отверстие в восточной задней стене значительно шире ложной пробки в районе 37 на 32 см и находится несколько ниже и южнее ложной пробки. Паз неясного назначения в торцевой части проходит от северной части перекрытия к южной под некоторым углом, глубина в районе 4 см. Интересен общий план (рис. 3е), т.к. в полевых условиях почти не бывает возможности наблюдать дольмен в подобных ракурсах.

Группа Кокай

Группа Кокай расположена в 3,7 км к северу от посёлка Б. Псеушко на юго-западных склонах хребта Мезецу. В группе пять дольменов, три из которых плиточные и два корытообразных. Плиточные сооружения сильно разрушены, один корытообразный без перекрытия, а у второго разбита боковая стена и часть перекрытия. Объекты группы имеют множество интересных деталей, таких как вытесанное желобообразное углубление, проходящее через всю крышу одного из плиточных дольменов или вытесанное прямоугольное углубление (похожее на корыто) под отверстием в крупном корытообразном дольмене. Также на группе имеются необычные места с выложенными по кругу необработанными камнями. Возможно, это остатки домов или других построек.

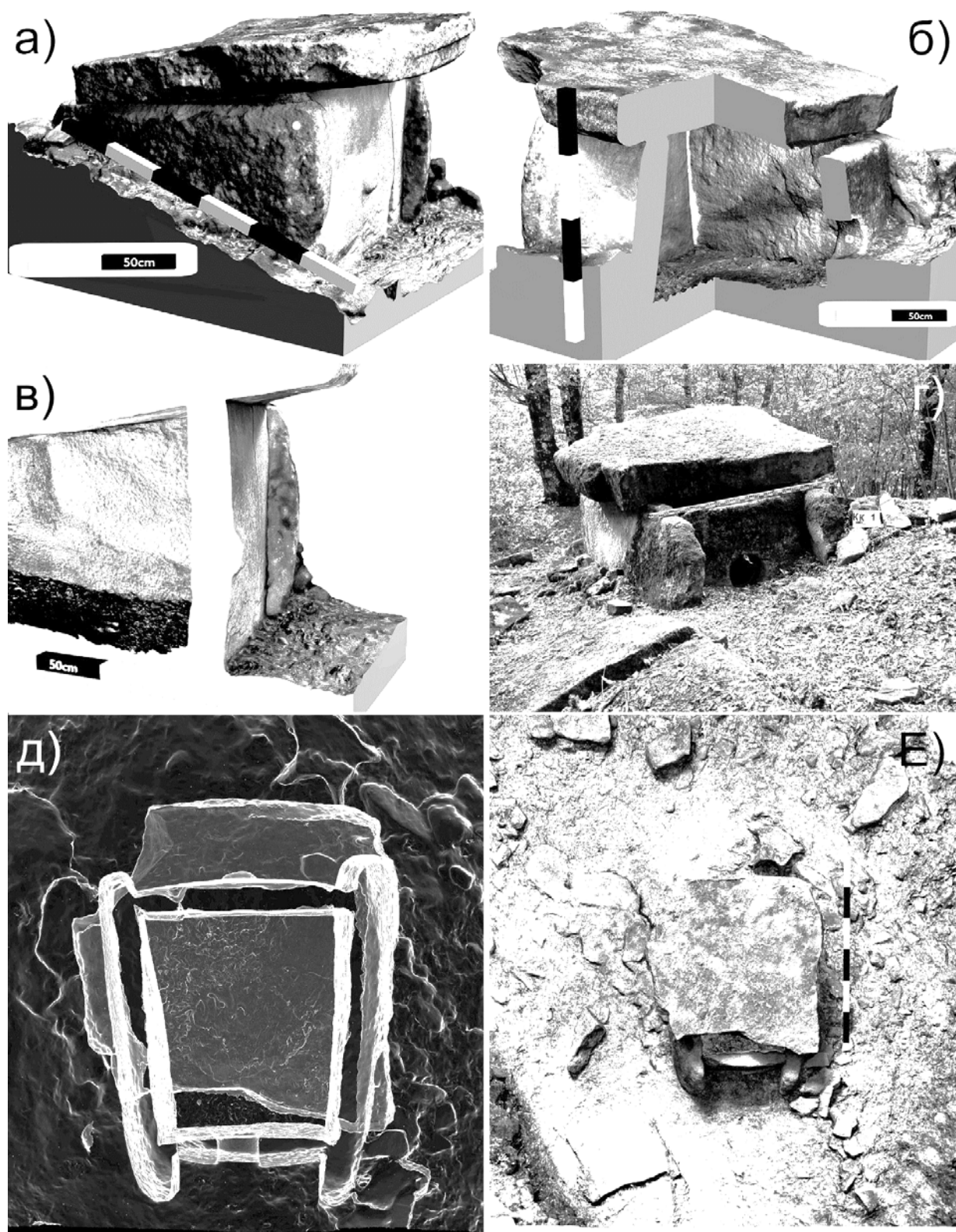


Рис. 3. Модель дольмена №3, группа Кокукай: (а) вид с севера на ложный фасад (курган обрезан по краям модели сооружения); (б) сечение со стороны истинного фасада; (в) сечение по ложной пробке; (г) фотография сооружения с юго-востока; (д) вид сверху в режиме х-гау, демонстрирующий трапециевидную форму камеры; (е) общий вид модели сверху, включающий обломки вокруг сооружения

Для съемки был выбран ложнопортальный корытообразный дольмен № 3 (рис. 4), обладающий рядом интересных особенностей. Отверстие находится в боковой стене, что для ложнопортальных дольменов большая редкость. В камере хорошо сохранился выступ для сооружения полки (рис. 4в). На Кавказе известно всего пять дольменов с полками, три из них расположены на хребте Мезецу. Ещё одной очень необычной деталью является исполнение перекрытия. Дольменостроители позаботились о сохранности данного сооружения, усилив всю конструкцию к природным воздействиям. На нижней части перекрытия вытесано ребро жесткости коробчатого сечения (рис. 4а), точно соответствующее стенам камеры дольмена.

Всего известно ещё два варианта решения задачи по усилению крыши, и оба находятся на хребте Мезецу.

Для расчистки была выбрана территория около 3–4 м от сооружения, сюда вошли курган и обломки сооружения. Учитывая проблемы прошлых работ, это сооружение стало первым, на котором был подстрижен мох. Работа по расчистке заняла 10–12 человеко-часов. Непосредственно перед съемкой на объект были расклеены метки в количестве 11 штук и снято 4 контрольных замера между ними. Измерены расстояния на фасадной плите, между фасадом и перекрытием, а также в камере, на боковой плите, между боковой и задней плитой.

Съемка продолжалась 6 часов в первый день и около часа во второй день. Так как базовый лагерь находился фактически на группе, была возможность выбирать освещение объекта, поэтому в съемке делались паузы. Было сделано 990 фотографий, около 160 из них оказались не резкими. Стандартно для такой съемки плохо получились кадры внутри камеры, несмотря на то, что отсутствует одна из стен. Также проблемы возникали с фотографированием нижней части перекрытия (позиция против света). Особенность съемки – фотографирование сложной рельефной поверхности (выступа) в камере объекта. Выступ для сооружения полки довольно низко находится над уровнем земли (рис. 4а, в). Под ним слишком мало места, чтобы поместить туда

аппаратуру, поэтому процесс съемки сильно замедляется из-за выбора более удачной позиции и расстановки рассеивающей подсветки. Кроме того, само наличие фотографа уменьшает количество света в камере.

Обработка данных заняла около 80–90 часов, суммарный рендер финальной модели – 60 часов. В итоге, для построения модели было использовано 980 из 990 снимков. Из 11 меток, поставленных на объект, 9 были использованы в качестве маркеров в программе (8 маркеров – 4 контрольных расстояния, средняя длина линейки 1,0243 м, и 1 маркер – метка в отверстии). Работа проходила в стандартном режиме, со средним и высоким параметрами рендера на различных этапах. На выходе получилась модель с количеством полигонов: 5 654 064. Количество кадров перекрытия составило более 9 на каждый узел модели.

Результат получился лучше, чем ожидалось, т.к. из-за некоторых проблем с объективом целые серии фотографий оказались слегка размыты. На рис. 4 дольмен и его модель. Овальное отверстие диаметрами 30 и 40 см с внешней стороны утоплено в курган, толщина стен в районе 20 см (рис. 4б). С фасадной стороны видны сохранившиеся элементы имитации портала, в данном случае – ложного (рис. 4з). Также в нижней части перекрытия видно ребро жесткости высотой около 20 см (рис. 4з, д), по толщине совпадающее с толщиной стен дольмена, что наблюдается на виде сверху в режиме *x-ray* (рис. 4е). Рельеф нижней внешней южной части перекрытия в виде выпуклых полос (рис. 4з) – это результат выветривания туфопесчаника. Такие же полосы наблюдались и на верхней части крыши, перекрытие при перегрузке треснуло именно в таком месте, т.к. косые линии на вертикальной части ребра жесткости совпадают с общей направленностью разлома перекрытия. Это позволяет отнести данный элемент (полосы) к характеристике породы, отделяя его от культовых или технологических элементов конструкции. Также в модели, в камере дольмена, можно наблюдать хорошо сохранившийся паз для сооружения полки (рис. 4в). Конструкция полки не до конца понятна.

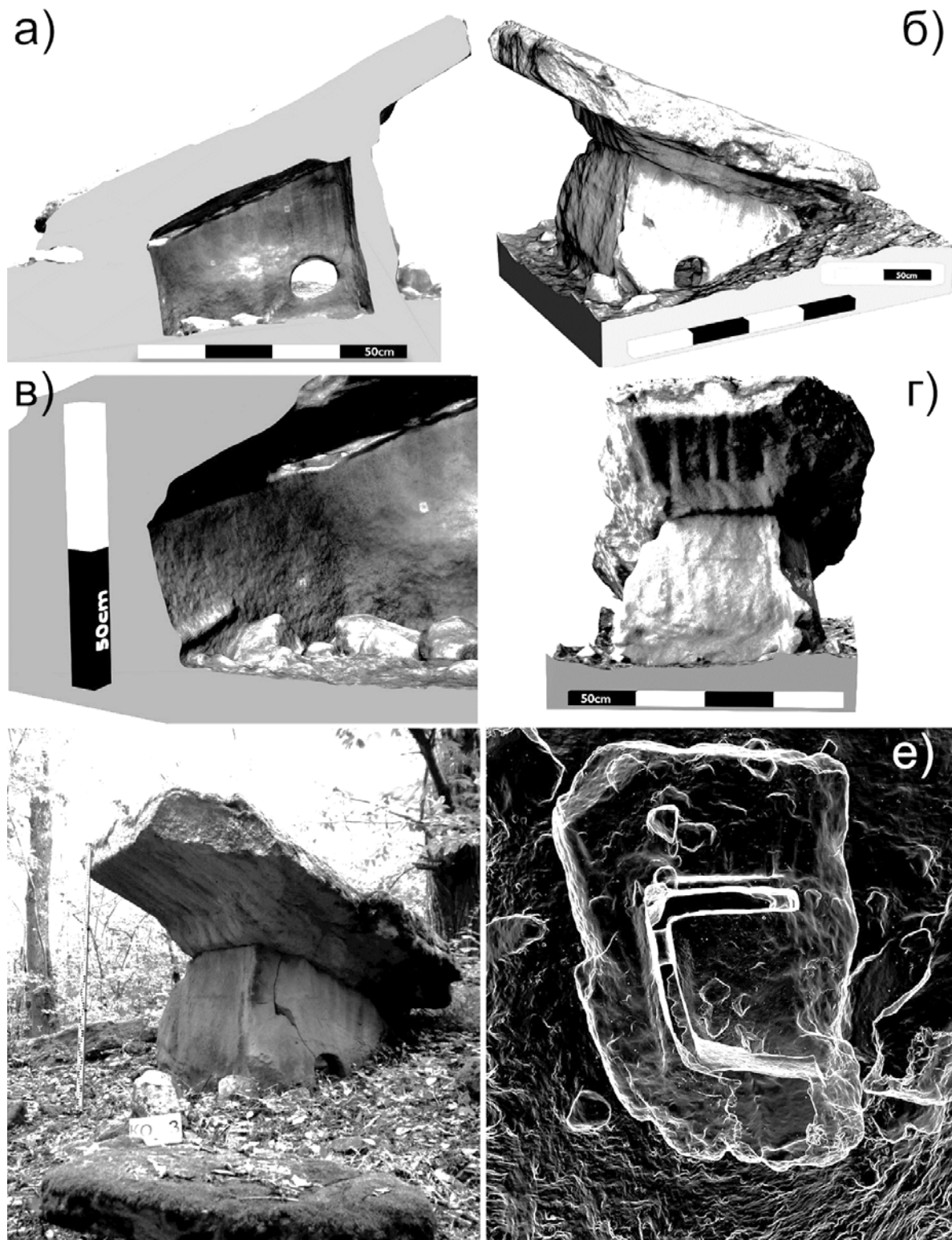


Рис. 4. Модель дольмена № 3, группа Кокай: (а) вид с северо-запада, в основании перекрытия можно наблюдать ребро жесткости коробчатого сечения в продольном разрезе; (б) вид со стороны истинного фасада; (в) сечение, демонстрирующее паз для сооружения полки; (г) вид с юго-запада на ложный портал, показывающий результат выветривания породы (туфопесчаник), слагающей перекрытие; (д) фотография сооружения с юга; (е) вид сверху в режиме x-ray

Группа Пхабгучел

Группа Пхабгучел находится на высоте около 550 м примерно в 3,5 км на северо-восток от поселка Б. Псеушхо и насчитывает двенадцать дольменов. Одно сооружение из них корытообразное, одно наполовину корытообразное и наполовину плиточное, остальные сооружения плиточные. Группа богата разными уникальными техническими и культовыми особенностями. Здесь у сооружений есть выпуклые полусферы, паз для сооружения полки, в разной степени сохранились приставные галереи. А также целая серия разнообразных элементов, трудно поддающихся объяснению. Ко всему прочему, часть группы пострадала от когда-то сошедшего оползня, поэтому несколько объектов засыпано.

Для съемки был выбран ложнопортальный корытообразный дольмен № 6 (рис. 5). Объект имеет ряд интересных особенностей. Хорошо сохранился ложный портал с имитацией плит и ложной пробкой (рис. 5*д*, *е*). Отверстие находится в боковой восточной стене. Задняя северная стенка имеет специальный скос для облегчения сборки конструкции. В камере дольмена вытесан крупный паз для сооружения полки, он ярко выражен (рис. 5*в*, *г*). Паз начинается на задней северной стене, проходит через всю западную стену и заканчивается на южной части. В дольменной культуре Кавказа известно всего пять дольменов с полками, это одно из этих сооружений. Также у этого дольмена есть странный конструктивный элемент, возможно, под приставную галерею, что не характерно для корытообразных дольменов. Элемент можно рассмотреть на верхней части восточной стены (рис. 5*б*). Вытесанный угол явным образом не несет нагрузку от перекрытия. Кроме того, возле сооружения есть обработанный блок, который из-за отличия в толщине не является частью сдвинутого и разбитого перекрытия. Крупный расплывшийся курган по краям был укреплен необработанными обломками породы, которые теперь просто лежат на его границах. Кольцо из обломков породы не замкнуто, т.е. камни лежат с южной и юго-восточной сторон.

Для расчистки была выбрана территория около 3–4 м от объекта. Помимо дольмена она включала в себя обломок перекрытия и обработанный блок. Работы по расчистке заняли около 15 человеко-часов. Были распилены и убраны крупные, упавшие, полусгоревшие деревья (в прошлом тут был низовой пожар), удален мелкий кустарник, выполота ежевика, подстрижен мох. На объекте были расклеены метки в количестве 15 шт., и измерены два контрольных расстояния.

Лагерь располагался неподалеку от группы, что позволило выбирать лучшие моменты для съемки. Было сделано 950 фотографий, в обработку попало 926 снимков. Программой были отсеяны сильно размытые кадры и кадры, у которых был слишком близкий ракурс (около полуметра до объекта). Проблемы возникли только с фотографированием небольшого затененного пространства под упавшей крышей, т.к. не везде под ней помещался фотоаппарат.

Обработка этого дольмена заняла около 170 часов, рендер финальной версии модели в общей сумме занял 80 часов. Финальная модель состоит из 1 431 891 полигона. Количество снимков перекрытия – более 9 на каждый узел модели. На рис. 5*а*, *е* можно наблюдать круглое отверстие диаметром порядка 40 см. Нижняя точка отверстия ниже уровня пола в дольмене. Наличие слива в отверстии позволяет говорить о том, что оно кроме культовых аспектов также выполняло еще и техническую функцию – удаление воды из камеры. Изображения на рис. 5*в*, *г* наглядно демонстрируют устройства паза для сооружения полки. Паз вытесывался вглубь стен, также не трудно определить, сколько и в каких местах был удален материал для расширения его площади. Это видно и на самой модели, и по текстуре. На задней стене поверхность обработки составила около 30 см в высоту. Приближаясь к фасадной стене, поверхность обработки увеличилась почти в два раза. Также необходимо обратить внимание, что сам паз не параллелен полу, чему пока нет объяснения. На рис. 5*е* в режиме *x-ray* особенно хорошо видно, что корытообразный дольмен в целом имитирует плиточную конструкцию.

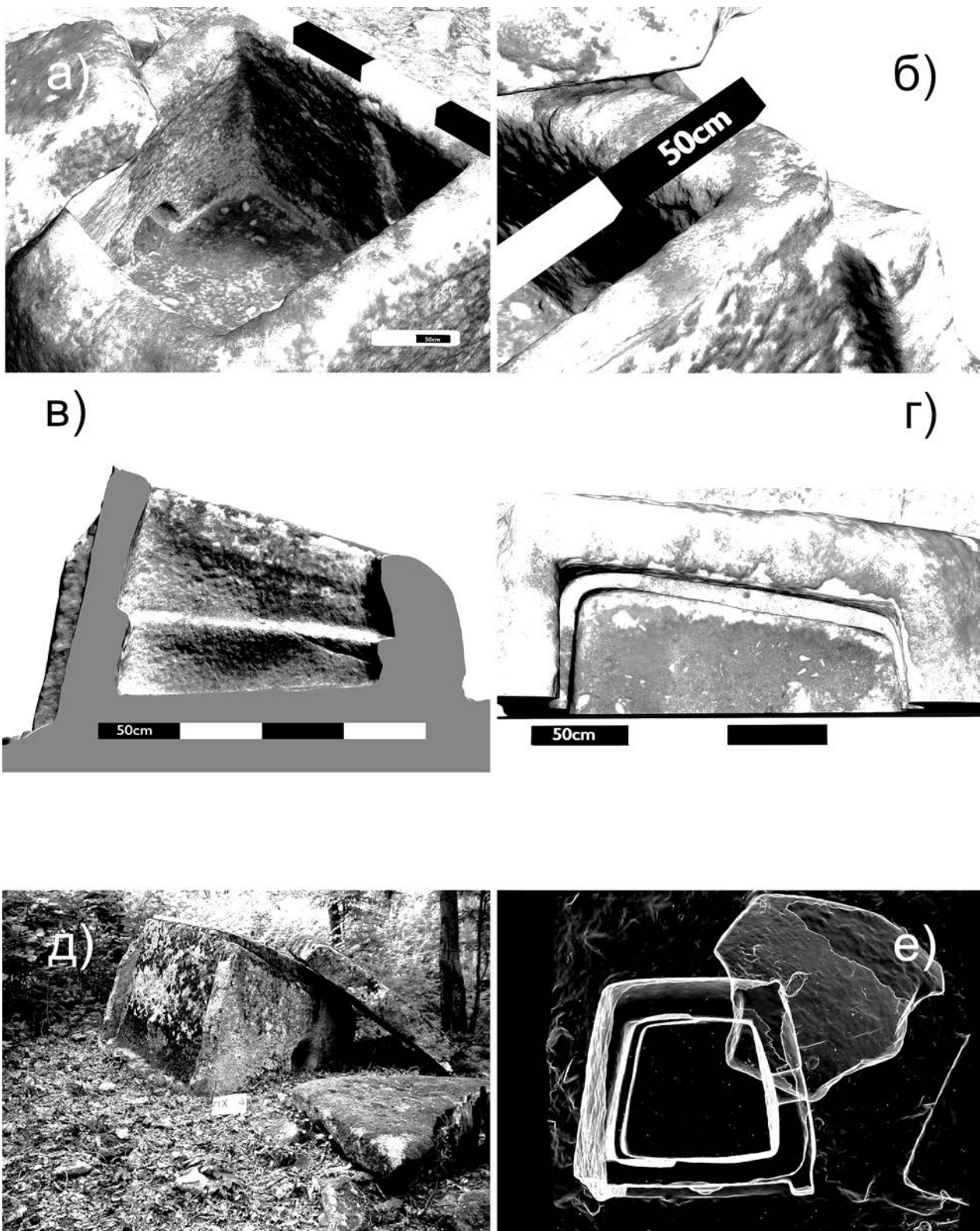


Рис. 5. Модель дольмена № 6, группа Пхабгучел: (а) вид сверху на камеру сооружения; (б) элемент неясного назначения (продолжение боковой стены); (в) и (г) устройство паза для сооружения полки в камере (паз не параллелен полу); (д) фотография дольмена с юга; (е) вид сверху в режиме x-ray, показывающий трапециевидную форму камеры

Группа Спунетам

Группа Спунетам находится на южном отроге хребта Мезецу примерно в 2,5 км к северо-востоку от посёлка Б. Псеушхо. Это одна из самых высоких групп Краснодарского края: четыре сооружения стоят на небольшом плато высотой 800 м. Существует некоторая путаница в археологических данных, поэтому объекты разнесены в две разные группы и пересекаются по номерам и названиям. В первой группе один объект – дольмен «Спунетам» (по данным М.К. Тешева обозначен как «Спыунетам 1»). Это крупное корытообразное сооружение (высотой порядка 3 метров), обладает ребром жесткости на перекрытии, пазом для сооружения полки в камере и барельефом. Оно является одним из самых больших объектов дольменной культуры Кавказа. Во второй группе с названием «Спыунетам 2» два дольмена. Дольмен № 1 разрушен. Дольмен № 2 составной и сложен из необработанных блоков, что является очень большой редкостью – в дольменной культуре Кавказа известно всего три подобных сооружения. Также есть еще один дольмен в пределах этого небольшого плато (по данным М.К. Тешева обозначен как «Спыунетам 2»), он интересен своей конструкцией, а также тем, что направленное в склон отверстие располагается в углу между двух плит.

Было два варианта для съемки: крупный корытообразный дольмен или составной дольмен из необработанных блоков. В силу ограниченного количества времени было принято решение снимать составной дольмен (рис. 6). Объект небольшого размера, чуть больше 1,5 м высотой и около 2 м в ширину. Блоки плохо подогнаны друг к другу, поэтому из-за щелей камера хорошо освещена. Зарослей на объекте немного, и он стоит в кургане порядка 5–6 м диаметром и около 1,5 м в высоту. Уникальность дольмена – редкий тип конструкции.

Расчистка происходила почти по границе кургана на расстоянии около 2–3 м от объекта и заняла около 6–7 человеко-часов. За год до работ в этих местах произошёл пожар, поэтому расчистка свелась к удалению мелкого кустарника и ежевики, стрижки мха и растаскиванию сгоревших завалов. На объект были расклеены метки в количестве 4 шт. и измерены 3 контрольных расстояния.

Съемка производилась с рук и заняла чуть больше 40 минут. Было сделано 765 фо-

тографий, в обработку попало 755. В процессе съемки была допущена ошибка, и нижняя часть перекрытия с одной из меток была снята с недостаточным перекрытием (нет фотографий с крупным ракурсом), поэтому программа не смогла позиционировать эти снимки. Однако общих планов оказалось достаточно, чтобы перекрытие сооружения было без дефектов.

Обработка дольмена заняла около 96 часов, суммарный рендер финальной модели составил 32 часа при средних настройках. В результате получилась модель из 5 654 064 полигонов. Так же, как и на предыдущих съемках, было сделано большое количество кадров перекрытия, которое составило более 9 снимков для каждого узла модели. На рис. 6 фотография дольмена и его модель. На рис. 6а видно, что курган высотой около 1,5 м. Сам курган преимущественно с юга и юго-востока укреплен обломками породы. Необработанные блоки в составе стен у задней северо-восточной части дольмена крупнее, чем у фасадной юго-западной. Перед дольменом лежат более крупные обломки, возможно, это части фасада. Близкий ракурс (рис. 6а) и сечение (рис. 6б) наглядно демонстрируют устройство кладки дольмена. В режиме *x-ray* на рис. 6в видна общая подковообразная схема сооружения.

К обсуждению

Работа посвящена пограничному направлению, которое находится на стыке археологии и математического моделирования. Основная цель работы – разработка методологии для съемки объектов в условиях ограниченных ресурсов и гигантских необжитых пространств.

В течение двух полевых сезонов нами были сделаны серии фотографий археологических сооружений, из которых в дальнейшем были созданы восемь трехмерных моделей. Одна из краеугольных проблем, с которой мы столкнулись – это расчет ошибки геометрии. Программа выдает отличие заданной масштабной линейки от размера созданного ею объекта, что является не слишком удобным для интерпретации. Предлагается более наглядный параметр – ошибка деформации модели (усредненное по линейкам относительное квадратичное отклонение) на основе данных программы и не зависящая от длины масштабной линейки. Коэффициент деформации (КД) был рассчитан по следующей формуле (1):

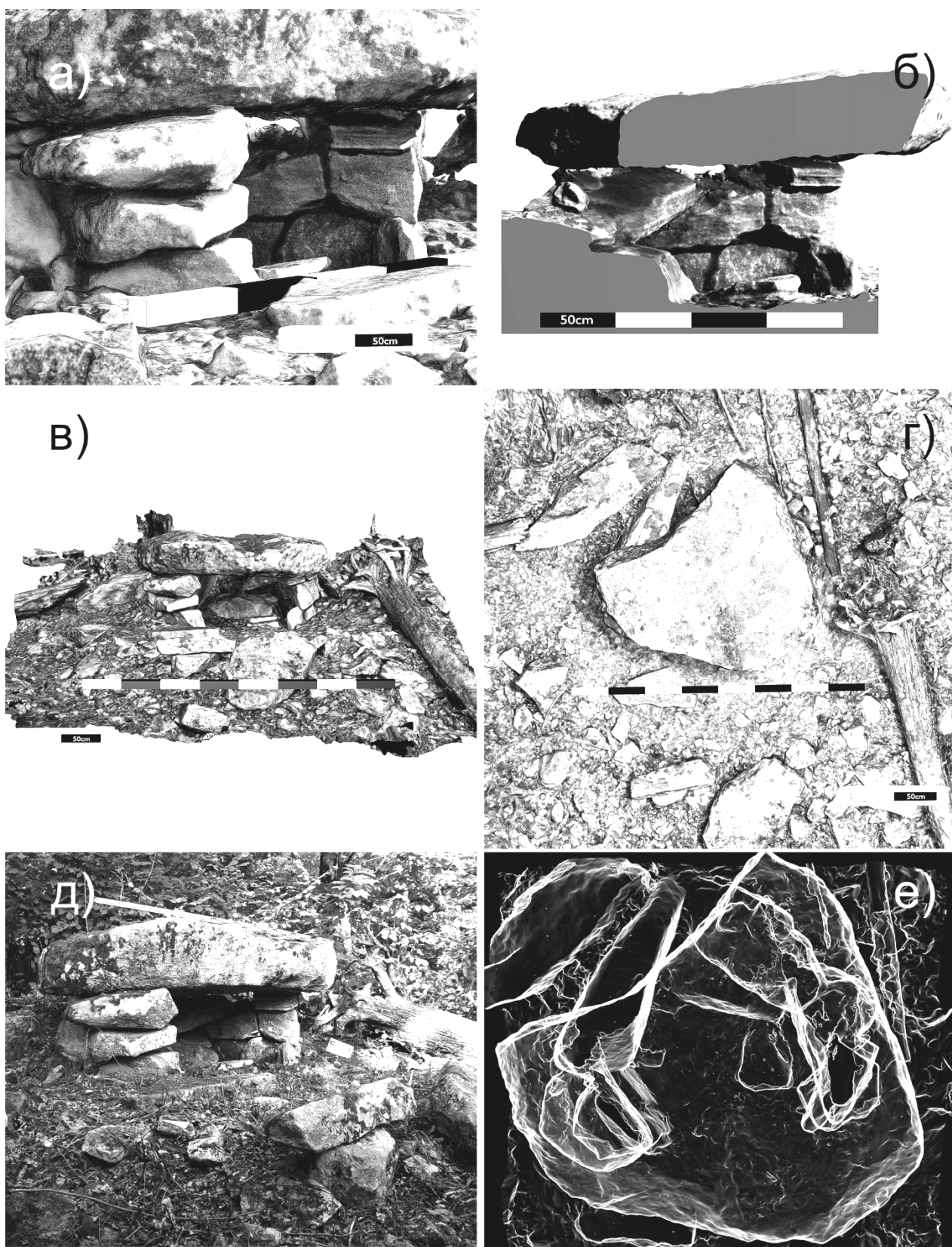


Рис. 6. Модель дольмена №2, группа Спунетам: (а) близкий ракурс, показывающий общее устройство кладки; (б) сечение, демонстрирующее внутреннее строение камеры (вид на внутреннюю часть восточной стены); (в) общий вид модели дольмена в кургане ракурс с юго-востока; (г) модель дольмена в кургане, вид с верху, также обломки вокруг дольмена; (д) фотография дольмена, вид с запада; (е) вид сверху в режиме x-ray, демонстрирующий подковообразную форму камеры



Рис. 7. Общий вид моделей: (а) группа Пхабгучел, дольмен №6 в кургане; (б) группа Кокай, дольмен №3 в кургане

$$КД = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{\Delta l_i^2}{l_i^2}}}{n}, \quad (1)$$

где Δl – ошибка масштабной линейки; l – длина линейки; n – количество линеек. В сводной таблице приведена деформация каждой модели, для удобства переведенная в проценты.

Сводный список характеристик моделей дольменов

Модель	Количество полигонов	Количество линеек	КД	Количество фотографий*	Оборудование
Рыбалко-2,3,4 в общем кургане **	8 168 665	5	0,11%	1576	Nikon D5100
Рыбалко-2	1 539 614	6	0,28%	714	
Рыбалко-3	1 171 481	5	0,58%	427	
Рыбалко-4	1 225 396	6	0,25%	475	
Кокукай-1	7 233 339	3	0,32%	1127	Canon EOS 1100D
Кокай-3	5 654 064	4	0,12%	980	
Пхабгучел-6	1 428 262	2	0,30%	926	
Спунетам-2	5 001 270	3	0,26%	755	
* – фотографии, участвующие в создании модели;					
** – модель группы в общем кургане (в отличие от рассчитанных по отдельности моделей этой же группы) создавалась с максимальными настройками качества и в более новой версии программы					

Одной из решаемых задач была разработка удобного полевого метода фиксации (документирования) объекта в виде трехмерной модели, который можно было бы при необходимости легко применять наряду с обычным фотографированием. Мы предлагаем некий минимальный набор, который позволял бы создать качественную модель.

- Для съемки подходят фотоаппараты с разрешением матрицы 12 мПикс и выше. Вообще, от матрицы зависит часть сопутствующего оборудования, т.к. её параметры определяют световосприимчивость, которую в некоторых случаях можно компенсировать объективом.
- Для подсветки темных участков сооружения необходим диодный фонарь с рассеянным светом.
- Набор меток для облегчения последующего выравнивания фотографий (см. рис. 1в).
- Дальномер.
- Необходимость штатива или монопода обратно пропорционально качеству матрицы аппарата, т.е., чем хуже матрица, тем в большей степени нужна фиксация фотокамеры.
- Количество затраченной энергии в среднем на одно сооружение составило около 1500 мАч, следовательно, необходима дополнительная зарядка или смена аккумуляторов.

- Объекты без расчистки снимать, как правило, невозможно, поэтому сюда же входит некоторый ограниченный набор инструментов (ножницы, мачете и так далее в зависимости от зарослей).

Для сборки моделей при низких и средних параметрах, а также постобработки оказалось достаточным ноутбука (*Intel CORE i7, 8Gb ОЗУ, Nvidia 540M 2Gb*), но у нас основная сборка моделей проходила на более мощных системах. Красивым и оптимальным решением стало объединение машин в кластер для совместной работы, что тоже не является невозможным для современных научных коллективов.

Таким образом, метод фотограмметрии с учетом нашего полевого опыта работы в условиях с ограниченными ресурсами может легко стать обычным повседневным инструментом для любого полевого специалиста в направлениях, где фотография также выступает в качестве способа фиксации объекта.

Двумерное представление трехмерного объекта, особенно с трудно поддающимися объяснению элементами, проигрывает 3D модели, т.к. зачастую отражает лишь часть информации. Трехмерные модели же обладают почти бесконечным потенциалом для исследования, они более объективны и, при необходимости, легко переводимы в двухмерную плоскость в виде проекции, сечения, чертежа или плана. Таким образом, фотограмметрические

3D модели в таких направлениях, как археология и иные дисциплины, могут стать полноценной заменой некоторым привычным видам фиксации данных.

В настоящее время существуют базы трехмерных моделей, например, сервис *sketchfab.com*, на котором можно будет ознакомиться и с нашими моделями. Однако они плохо адаптированы к исследовательским задачам и являются по сути хаотической смесью любительских и профессиональных работ. Вероятно, дальнейшее введение трехмерных моделей в научный оборот должно привести к созданию общероссийской научной базы широкого доступа с возможностями для анализа, скачивания и обмена информацией (с поправками и ограничениями в конкретных направлениях).

Очевидно, изучение объекта нельзя свести к изучению только его трехмерной модели, но наглядность и простота работы с этим новым форматом документации выведут исследования в самых разных областях на более высокий уровень.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Вавулин, М. В. Технологии трехмерной оцифровки крупных автономных археологических объектов // Вестник Томского государственного университета. – 2016. – № 407. – С. 55–60. – doi:10.17223/15617793/407/9.
2. Валганов, С. В. Дольмены Кавказа Реконструкция культа. – Москва : Агентство «Бизнес-Пресс», 2004. – 368 с.
3. Зайцева, О. В. «3D революция» в археологической фиксации в российской перспективе // Сибирские исторические исследования. – 2014. – № 4. – С. 10–20.
4. Кудин, М. И. Археoaстрономия и дольмены // Сочинский краевед. – 2000. – Вып. 7. – С. 2–6.
5. Кудин, М. И. Дольмены с ложным входом на Западном Кавказе // Архитектура. Искусство. Археология: проблемы изучения и сохранения культурного наследия. Материалы 1-й международной научно-практической конференции. – Ростов на Дону : Ин-т архитектуры и искусств ЮФУ, 2008.
6. Марковин, В. И. Дольмены западного Кавказа. – Москва : Наука, 1978. – 328 с.
7. Марковин, В. И. Дольменные памятники Прикубанья и Причерноморья. – Пушкино : ОНТИ ПНЦ РАН, 1997. – 404 с.
8. Новиков, В. В. Методика 3D-реконструкции ландшафта и визуализации археологических объектов на примере большого кургана из раскопок В.И. Сизова в центральной группе Гнѣздовского археологического комплекса / В.В. Новиков, С.Ю. Каинов, Ф.С. Галеев // III Международная конференция молодых ученых «Новые материалы и методы археологического исследования». – Москва : Институт археологии РАН, 2015. – С. 187–189.
9. Новиков, В. В. О создании единой цифровой модели ландшафта археологического комплекса «Гнѣздово» / В.В. Новиков, П.А. Плетняков // Геопрофи. – 2017. – № 1. – С. 26–29.
10. Сингатулин, Р. А. Стереофотограмметрические методы в археологии: исследование объектов археологического наследия в условиях городской застройки : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук ; Моск. гос. ун-т. – Москва, 2017. – 220 с.
11. Степченков, В. С. Опыт экстремальной фотограмметрии на примере дольменной культуры Кавказа / В.С. Степченков, С.В. Валганов, М.А. Мелянчук // Материалы второй всероссийской научно-практической конференции «Природа, общество, человек», 2016. – URL: <https://www.uni-dubna.ru/File?id=1a7f5749-83d2-44c6-9b15-4ebfb2e6be1c> (дата обращения: 01.04.2019).
12. Шамотульский, А. И. Дольмены черноморского побережья Кавказа // Туапсе и Туапсинский район. – Краснодар : Кн. Изд-во, 1967. – 171 с.
13. Abbaszadeh, S. A comparison of close-range photogrammetry using a non-professional camera with field surveying for volume estimation // The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. – 2017. – P. 1–4. – doi:10.5194/isprs-archives-XLII-4-W4-1-2017.
14. Arkawi Abir. Vision of the reconstruction of destructed monuments of Palmyra (3d) as a step to rehabilitate and preserve the wholesite // The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. – 2017. – Vol XLII-2/W5. – P. 41–48. doi:10.5194/isprs-archives-XLII-2-W5-41-2017.
15. Benavides López, J. A. 3D modelling in archaeology: The application of Structure from Motion methods to the study of the megalithic necropolis of Panoria / J.A. Benavides López, G. Aranda Jiménez, E. Sánchez Romero [et al] // Journal of Archaeological Science. – 2016. – P. 495–506. – doi:10.1016/j.jasrep.2016.11.022.
16. Thomas, H. A new methodology for accurate digital planning of archaeological sites without the aid of surveying equipment / Hugh Thomas, Melissa A. Kennedy // Journal of Archaeological Science. – 2016. – P. 1–6. – doi: 10.1016/j.jasrep.2016.06.006.
17. Forte, M. Archaeology in Three Dimensions: Computer-Based Methods in Archaeological Research / Maurizio Forte, Donald H. Sanders, Leo

- re Grosman [et al] // Journal of eastern mediterranean archaeology and heritage studies. – 2014. – P. 48–64. – doi:10.5325/jeasmedarcherstu.2.1.0048.
18. Molodin, V. I. The metal ages and medieval period / V.I. Molodin, L.N. Mylnikova, Y.N. Garkusha, D.V. Selin // Archaeology Ethnology & Anthropology of Eurasia. – 2015. – P. 47–60. – doi:10.1016/j.aear.2015.07.006.
19. Porter, S. A Simple Photogrammetry Rig for the Reliable Creation of 3D Artifact Models in the Field / Samantha Porter, Morgan Roussel, Marie Soressi // Society for American Archaeology. – 2016. – P. 71–86. doi: 10.7183/2326-3768.4.1.71.
20. Porter, S. Portable and low-cost solutions to the imaging of Paleolithic art objects: A comparison of photogrammetry and reflectance transformation imaging / Samantha Porter, Nadine Huber, Christian Hoyer, Floss Harald // Journal of Archaeological Science. – 2016. – P. 1–5.
21. Rissolo D. Digital preservation of ancient maya cave architecture recent field efforts in Quintana roo, Mexico // The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. – 2017. – Vol XLII-2/W5. – P. 613–616. – doi:10.5194/isprs-archives-XLII-2-W5-613-2017.
22. Robleda Prieto, G. Modeling and accuracy assessment for 3d-virtual reconstruction / G. Robleda Prieto, Pérez Ramos // The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. – 2015. – P. 263–270. – doi:10.5194/isprsarchives-XL-5-W4-263-2015.
23. Santagati, C. Populating a library of reusable h-boms: assessment of a feasible image based modeling workflow / C. Santagati, M. Lo Turco, G. D'Agostino // The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. – 2017. – Vol XLII-2/W5. – P. 627–634. – doi:10.5194/isprs-archives-XLII-2-W5-627-2017.

Поступила в редакцию

19.07.2019

УДК: 504.06

**М. С. Швецова, И. З. Каманина, М. В. Фронтасьева, А. И. Мададзада,
И. И. Зиньковская, С. С. Павлов, К. Н. Вергель, Н. С. Юшин**

Применение активного биомониторинга с помощью техники «мох в мешках» на территории музея-заповедника «Царицыно»

*Москва является крупным мегаполисом, в котором атмосферный воздух ежедневно подвергается непрерывному воздействию химических веществ, образованных в результате работы заводов, автотранспорта, отопления жилых помещений и других видов человеческой деятельности. Заповедные и парковые зоны на территории Москвы играют важную рекреационную роль, поэтому контроль качества воздуха на этих территориях должен осуществляться в первую очередь. В качестве альтернативного метода мониторинга атмосферного воздуха более 40 лет используют метод активного биомониторинга с помощью техники «мох в мешках». Данный вид биомониторинга успешно применяется по всему миру: в Китае, Сербии, Молдове, Азербайджане, Италии, Румынии и т.д. Данный метод биомониторинга впервые был применен на территории музея-заповедника «Царицыно» для оценки загрязнения атмосферного воздуха. Для проведения эксперимента был выбран мох *Sphagnum girgensohnii*. С помощью нейтронного активационного анализа были определены концентрации элементов: Na, Mg, Al, Cl, K, Ca, Sc, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Zn, Se, As, Br, Rb, Mo, Sr, Sb, Ba, Cs, La, Sm, Tb, Ce, Hf, Ta, W, Th, и U. Концентрации Pb, Cu и Cd были определены методом атомной абсорбционной спектроскопии.*

*Ключевые слова: нейтронный активационный анализ, тяжелые металлы, *Sphagnum girgensohnii*, активный биомониторинг, рекреационные зоны*

Об авторах

Швецова Маргарита Сергеевна – аспирант, кафедра экологии и наук о Земле государственного университета «Дубна», инженер в лаборатории нейтронной физики им. И.М. Франка, Объединённый институт ядерных исследований. E-mail: mks@jinr.nf.ru. 141980, Россия, Московская область, Дубна, ул. Жолио-Кюри, дом 6.

Каманина Инна Здиславовна – кандидат биологических наук, доцент, кафедры экологии и наук о Земле государственного университета «Дубна».

Фронтасьева Марина Владимировна – начальник сектора нейтронного активационного анализа и прикладных исследований в лаборатории нейтронной физики им. И.М. Франка, Объединённый институт ядерных исследований.

Мададзада Афаг Иса – старший научный сотрудник в лаборатории нейтронной физики им. И.М. Франка, Объединённый институт ядерных исследований, National Nuclear Research Centre, Insaatcilar Ave, 4, AZ1073 Baku, Republic of Azerbaijan.

Зиньковская Инга Ивановна – старший научный сотрудник в лаборатории нейтронной физики им. И.М. Франка, Объединённый институт ядерных исследований, Horia Hulubei National Institute for R&D in Physics and Nuclear Engineering, 30 Reactorului Str.MG-6, Bucharest-Magurele, Romania.

Павлов Сергей Сергеевич – ведущий инженер в Лаборатории нейтронной физики им. И.М. Франка, Объединённый институт ядерных исследований.

Вергель Константин Николаевич – научный сотрудник в лаборатории нейтронной физики им. И.М. Франка, Объединённый институт ядерных исследований

Юшин Никита Сергеевич – инженер в лаборатории нейтронной физики им. И.М. Франка, Объединённый институт ядерных исследований.

Контроль за качеством атмосферного воздуха на территории Москвы осуществляется станциями контроля загрязнения атмо-

сферы. Всего насчитывается 56 таких станций, включая мобильные автоматические станции контроля загрязнения атмосферы. Они контролируют содержание загрязняющих веществ, таких как оксид углерода, диоксид азота, оксид азота, сумма углеводородных соединений, озон, диоксид серы [3]. Данных по содержанию в воздухе тяжелых металлов, мно-

гие из которых относятся к первому классу опасности, крайне мало [10].

Методы биомониторинга широко применяются в качестве альтернативных для оценки качества среды. Растения являются хорошими показателями состояния окружающей среды. Для исследования загрязнения воздуха тяжелыми металлами наиболее подходят методы с использованием мха. Мох используют для оценки качества воздуха благодаря его способности поглощать и удерживать химические элементы. Поскольку он не имеет корневой системы, большая часть элементов, накапливаемых в нем, поступают из атмосферы. Это свойство мха широко используется, в том числе для проведения активного биомониторинга с помощью техники «мох в мешках». Химический анализ растений является важным инструментом для изучения изменений в биосфере [15].

Методика «мох в мешках» была предложена Гудманом и Робертсом в 1971 г. [7]. Данная методика с использованием мхов *Sphagnum girgensohnii* и *Hypnum cupressiforme* применялась в столице Сербии г. Белграде. Мох *Sphagnum girgensohnii* и *Hypnum* были упакованы в мешки и размещены на 48 участках отбора проб в течении 10 недель. За время экспозиции были накоплены в основном элементы, характерные для дорожного движения (Sb, Cu и Cr) [16]. В Румынии техника «мох в мешках» применялась для оценки загрязненного участка Baia Mare. В качестве биоиндикатора был выбран мох *Sphagnum girgensohnii*. За временем экспонирования во мхе увеличились концентрации таких элементов, как Zn, Se, As, Ag, Cd и Sb, которые являются загрязнителями окружающей среды на изучаемой территории [8]. Активный биомониторинг был применен для оценки загрязнения атмосферного воздуха в столице Республики Молдова. Результаты показали увеличение концентраций V, Sb, U и As [19]. В Италии на 24 участках вулкана Этна были размещены мешки со мхом видов *Sphagnum* для отслеживания естественного загрязнения воздуха [7]. В Испании (Жирона) за пределы 23 домов были выставлены мешки со мхом на 2 месяца для оценки загрязнения наружного воздуха тяжелыми металлами [14]. На территории аэропорта «Никола Тесла» (Белград, Сербия) был проведен активный биомониторинг с использованием в качестве биоиндика-

тора мха *Sphagnum girgensohnii*, что позволило определить влияние выбросов воздушных судов на загрязнение атмосферного воздуха [18]. Проведенные исследования позволили выделить территории с разной степенью техногенной нагрузки и источники поступления элементов в атмосферу.

Использование техники «мох в мешках» является самым удобным способом контроля загрязнения атмосферного воздуха. В отличие от стандартного мониторинга, который дает почасовую или суточную концентрацию загрязняющих веществ, можно оценить загрязнение за несколько месяцев. Данная техника проста в размещении на исследуемой территории, не требует источников питания и обслуживания в течение периода экспонирования.

Цель настоящего исследования – определение возможности использования метода активного биомониторинга атмосферного воздуха на территории музея-заповедника «Царицыно».

Активный биомониторинг проводился летом в период с 01.06.2017 г. по 01.09.2017 г. на территории Государственного музея-заповедника «Царицыно», который является одним из наиболее посещаемым в Москве. Согласно данным Регионального информационного агентства Московской области в выходные дни посещаемость парка насчитывает до 40 тысяч человек и до 70 тысяч в праздничные дни. Музей-заповедник «Царицыно» занимает 405 гектаров [2]. На этой территории расположен Царицынский дворец, пруды, комплект дворцовых зданий. Территория включена в особо охраняемую природную территорию «Царицыно» с 1998 года [4].

На территории парка были выбраны три участка с разной степенью техногенной нагрузки. Первый участок располагался в наиболее озелененной юго-восточной части парка, вдали от явных источников загрязнения (рис. 1). Второй участок располагался в восточной части парка, вблизи от автостоянки, улицы Баженова с интенсивным движением транспорта и станции метро Орехово. Третий участок находился в южной части парка вблизи от транспортной магистрали с интенсивным автомобильным и железнодорожным движением, железнодорожной станции и станции метро Царицыно. На каждом участке экспонировалось девять мешков мха для активного биомониторинга.

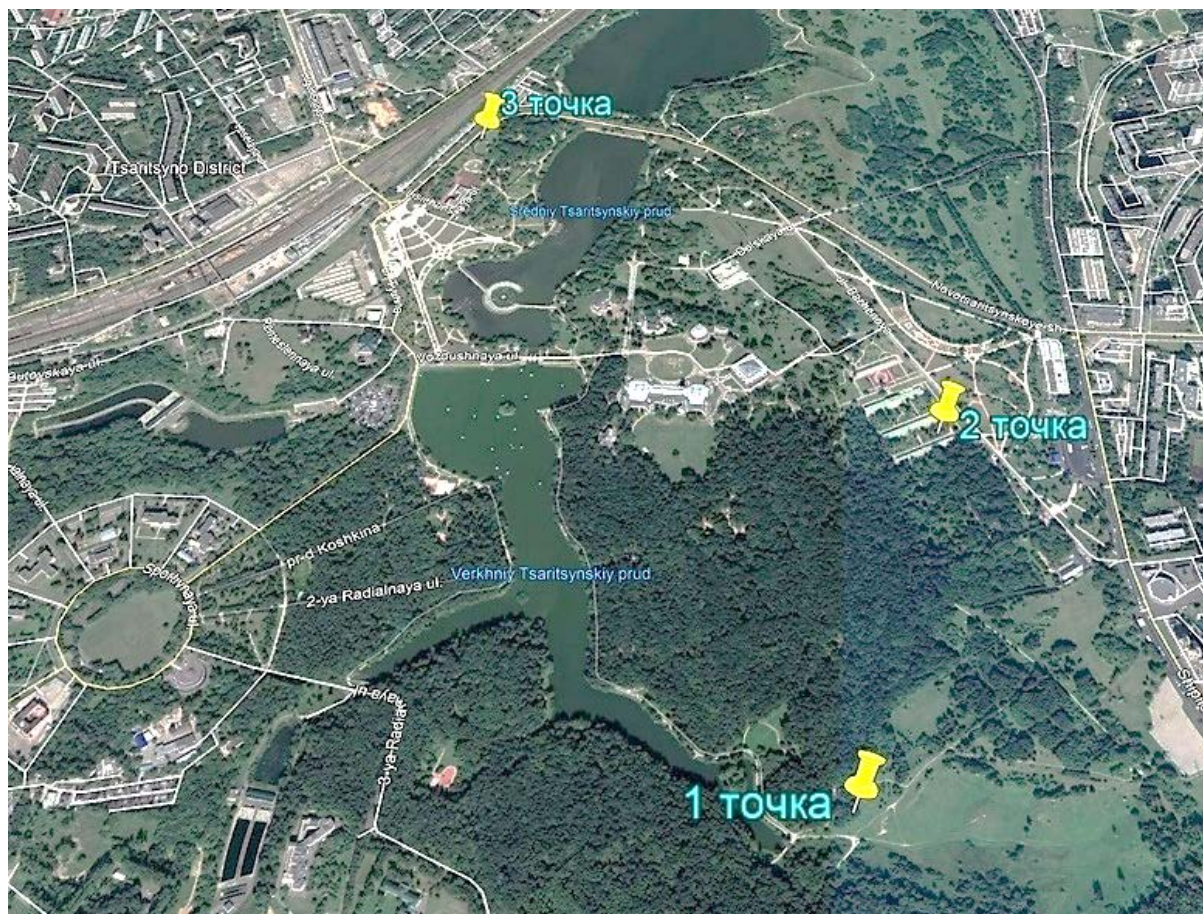


Рис. 1. Карта музея-заповедника Царицыно с указанием точек экспонирования мха

Для проведения биомониторинга был использован мох *Sphagnum girgensohnii* (рис. 2), сбор которого происходит в нетронutom водно-болотном угодье Тверской области. Предыдущие исследования показали целесообразность использования мха с данной территории для активного биомониторинга [5]. Собранный мох был очищен от крупных частиц, почвы, насекомых и сушился до посто-

янного веса при температуре 40 °С в лабораторных условиях в сушильном шкафу (рис. 2) [16]. Высушенный мох был свободно упакован в нейлоновые мешки размером 10 × 10 см и размером ячейки 1 мм. Вес мха в мешках, приготовленных для экспонирования, составлял около 3 г мха. Образец мха, который не был экспонирован в парке, использовался в качестве контрольного.



Рис. 2. а) мох *Sphagnum girgensohnii*; б) *Sphagnum girgensohnii* в сушильном шкафу

Время экспонирования образцов мха составило три месяца. Каждый месяц по три мешка с каждого участка снимались (рис. 3) и отправлялись лаборатории, где они хранились в защищённом от загрязнений месте

до проведения аналитических исследований. По окончании срока эксперимента была проведена пробоподготовка всех образцов в соответствии с методикой [20].



Рис. 3. а) экспонирование мешков в парке; б) мох в мешках после экспонирования

Определение элементного состава в образцах осуществлялось с помощью нейтронного активационного анализа (НАА) на реакторе ИБР-2, на установке REGATA, в лаборатории нейтронной физики Объединённого ин-

ститута ядерных исследований (ЛНФ ОИЯИ). Информация о системе пневматического транспорта и о каналах облучения на установке REGATA подробно описана в работе [11]. Cu, Cd и Pb были определены методом атом-

но-абсорбционной спектроскопии (ACC) на спектрометре iCE 3300 AAS с распылением электротермической (графитовой печи) (Thermo Fisher Scientific, Waltham, MA, USA).

Использование НАА и ААС позволило определить в образцах мха содержание 35 химических элементов (Na, Mg, Al, Cl, K, Ca, Sc, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Zn, Se, As, Br, Rb, Mo, Sr, Sb, Ba, Cs, La, Sm, Tb, Ce, Hf, Ta, W, Th, U с помощью НАА и Cd, Cu и Pb методом ААС).

Как показали исследования, накопление элементов мхами в ходе активного биомониторинга крайне неравномерно (рис. 4).

Вместе с тем можно выделить общие тенденции. Во всех образцах мха после экспонирования увеличились по сравнению с контролем концентрации Na, Mg, Al, Ca, Sc, V, Cr, Mn, Fe, Ni, Co, Zn, As, Sr, Sb, La, Tb, Ce, Hf, Ta, Th, U и Cu. Максимальное накопление большинства элементов отмечается после трех месяцев экспонирования. Такие элементы, как Sb, Cr, Fe, Zn, La, Th и V, активно накапливаемые мхами являются индикаторами загрязнения воздуха в городах. В целом более активное накопление элементов в ходе биомониторинга выявлено на третьем участке, что связано с интенсивной транспортной нагрузкой. На первом и втором участке экспонирования в образцах мха отмечается относительное снижение

по сравнению с контролем концентраций K, Cl и Rb, что вероятно связано с высокой подвижностью этих элементов и незначительным поступлением из атмосферы. Подобные закономерности отмечались и в других исследованиях [6; 9; 11]. Во всех образцах наблюдается относительное снижение концентрации Pb. Можно предположить, что это связано с запретом использования этилированного бензина на территории России [13]. После исследований, посвященных оценке содержания свинца в отработанных газах автомобильного транспорта, пришли к выводу что, 200–400 мг свинца может поступать в окружающую среду в результате сгорания 1 литра этилированного бензина. Содержание и накопление свинца привело к ухудшению здоровья населения, поэтому многие страны стали использовать неэтилированный бензин. В западных странах отказ от данного вида бензина произошел быстрее и отобразился на качестве воздуха [1].

Наибольшее обогащение экспонированных образцов мха отмечается для Sb, элемента, который находится в тормозных колодках и поступает в окружающую среду при торможении автотранспорта [14]. С влиянием автотранспорта связывают также поступление в атмосферу таких элементов, как Cr, V, Co, Fe.

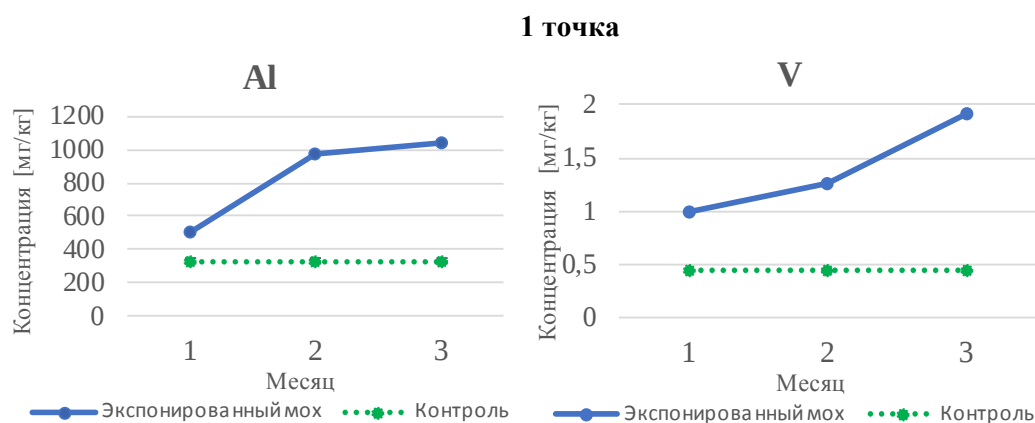
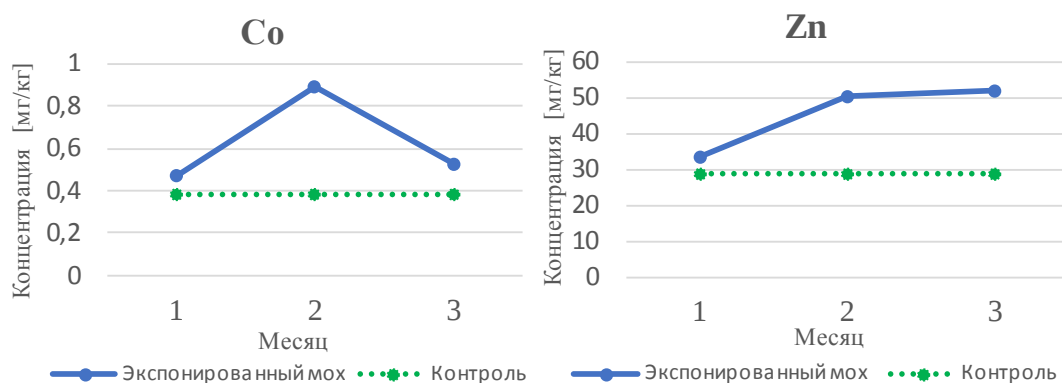
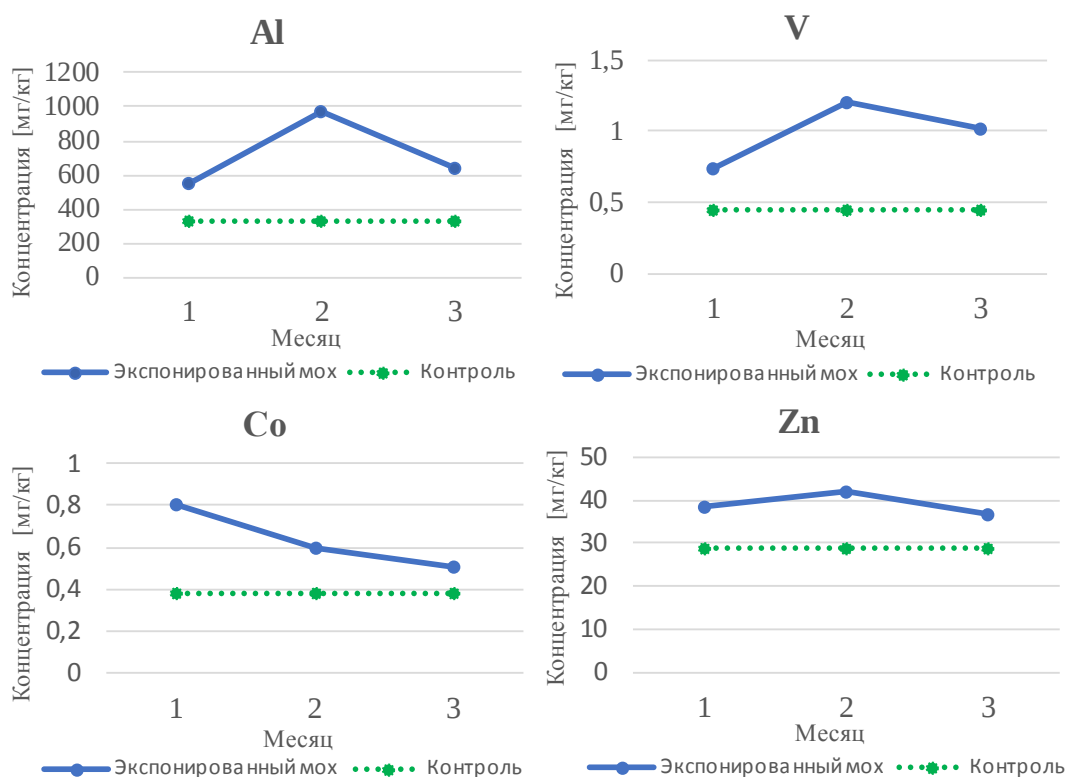


Рис. 4. Накопление некоторых элементов в экспонируемом мхе



2 точка



3 точка

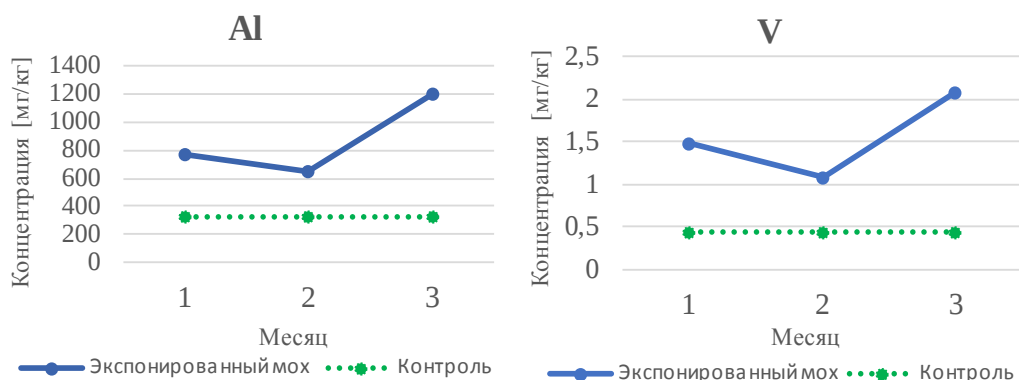


Рис. 4. Накопление некоторых элементов в экспонируемом мхе. Продолжение

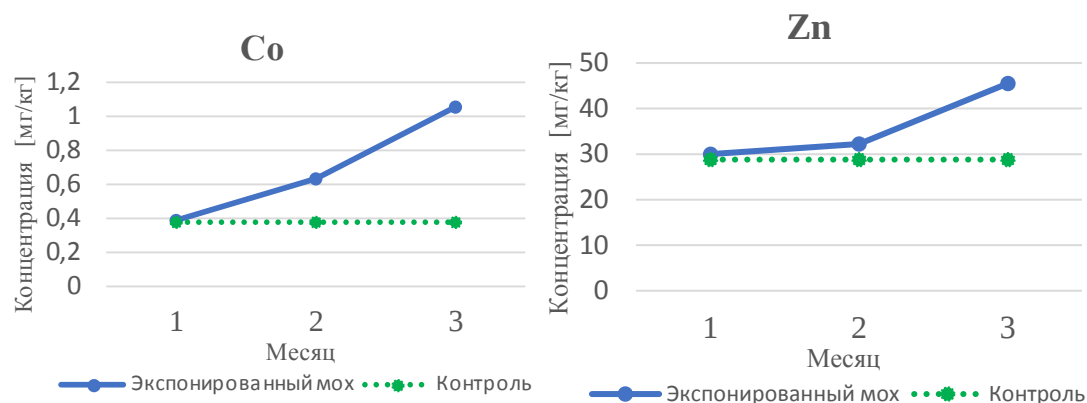


Рис. 4. Накопление некоторых элементов в экспонируемом мхе. Окончание

Мох эффективно аккумулирует в себе тяжелые металлы, он способен быстро накапливать катионы из атмосферных осадков и сухого осаждения, отдавая ионы водорода в обмен. Благодаря своим водонепроницаемым ячейкам, мхи способны удерживать большое количество воды и элементов, накапливающихся за счет физико-химических процессов [12]. На способность аккумуляции мхом элементов влияет количество осадков, направление ветра, время года и другое, что проявилось в неоднородности накопления во времени при общей тенденции к увеличению содержания элементов загрязнителей с увеличением времени экспонирования.

В результате проведенного активного биомониторинга на территории Московского государственного музея-заповедника «Царицыно» получены данные по содержанию 35 химических элементов в составе мха *Sphagnum girgensohnii* с использованием НАА и ААС. Полученные результаты показывают, что вид мха *Sphagnum girgensohnii* может быть использован для проведения активного биомониторинга. Техника «мох в мешках» подходит для применения на территории рекреационных зон Москвы, для оценки загрязнения атмосферного воздуха. Современные методы и методики должны быть экологически безопасными и экономически мало затратными для возможности частого применения, т.к. экологический мониторинг должен проводиться регулярно для своевременного обнаружения проблемы и принятия мер по ее устранению.

Успешное проведение активного биомониторинга с использованием методики «мох в мешках» на территории Государствен-

ного музея-заповедника «Царицыно» явилось обоснованием дальнейших исследований. В период с июня по сентябрь 2018 г. был проведен активный биомониторинг на территории 7 парков Москвы («Царицыно», «Кузьминки-Люблино», «Лосиный остров», «Измайлово», «Сокольники», «Парк Победы», «Останкино»). Для комплексной оценки экологического состояния парков были отобраны почвенные образцы, произведен сбор листьев в начале и в конце вегетационного периода в точках экспонирования мешков со мхом. Получение результаты помогут оценить качество атмосферного воздуха, степень загрязнения почв, выявить источники загрязнения рекреационных зон.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Снежко, С. И. Источники поступления тяжелых металлов в атмосферу / С.И. Снежко, О.Г. Шевченко // Уч. зап. РГГМУ. – 2011. – № 18. – С. 57–69.
2. Государственное бюджетное учреждение культуры города Москвы «Государственный историко-архитектурный, художественный и ландшафтный музей-заповедник «Царицыно». – URL: <http://tsaritsyno-museum.ru/en/>. (дата обращения: 04.04.2019).
3. Система мониторинга атмосферного воздуха в Москве. – URL: http://www.dpioos.ru/eco/ru/air_condition/o_1502 (дата обращения: 04.04.2019).
4. Царицыно (музей-заповедник). – URL: <https://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/270394> (дата обращения: 04.04.2019).
5. Anicic M., Tomasevic, M., Tasic M., Rajsic, S., Popovic A., Frontasyeva M.V., Lierhagen S., Steinnes E., Monitoring of trace element atmospheric deposition using dry and wet moss bags:

- Accumulation capacity versus exposure time / M. Anicic, M. Tomasevic, M. Tasic [et al] // *Journal of Hazardous Materials*. – 2009. – Vol. 171. – P. 182–188. – DOI: 10.1016/j.jhazmat.2009.05.112.
6. Aničić, M. Active biomonitoring with wet and dry moss: a case study in an urban area / M. Aničić, M. Tasić, M.V. Frontasyeva [et al] // *Environ Chem Lett*. – 2009. – V. 7. – P. 55–60. – DOI 10.1007/s10311-008-0135-4.
7. Calabrese, S. Characterization of the Etna volcanic emissions through an active biomonitoring technique (moss-bags): Part 1 – Major and trace element composition / S. Calabrese, W. D'Alessandro, S. Bellomo [et al] // *Chemosphere*. – 2015. – Vol. 119. – P. 1447–1455. – DOI: 10.1016/j.chemosphere.2014.08.086.
8. Culicov, O. A. Study of elemental grouping in Moss-Bags as a function of height and location of the exposure site / O.A. Culicov, O.G. Dului, I. Zinicovscaia // *Romanian Reports in Physics*. – 2016. – Vol. 68, No. 2. – P. 736–745. – URL: http://www.rp.infm.ro/2016_68_2/A28.pdf.
9. Culicov, O. A. Active Moss Biomonitoring Applied to an Industrial Site in Romania: Relative Accumulation of 36 Elements in Moss-Bags / O.A. Culicov, R. Mocanu, M.V. Frontasyeva [et al] // *Environ Monit Assess*. – 2005. – Vol. 108. – P. 229–240. – DOI: 10.1007/s10661-005-1688-9.
10. Elansky, N. Air quality and CO emissions in the Moscow megacity // *Urban Climate*. – 2014. – Vol. 8. – P. 42–56.
11. Frontasyeva, M. V. Neutron activation analysis in the life sciences // *PEPAN*. – 2011. – Vol. 42. – P. 332–378. – DOI: 10.1134/S1063779611020043. DOI: 10.1134/S1063779611020043.
12. Goryainova, Z. Assessment of vertical element distribution in street canyons using the moss *Sphagnum girgensohnii*: A case study in Belgrade and Moscow cities / Z. Goryainova, G. Vukovic, M. Anicic Urošević [et al] // *Atmospheric Pollution Research*. – 2016. – V. 7. – P. 690–697. – DOI: 10.1016/j.apr.2016.02.013.
13. Resolution of the State Duma of the Federal Assembly of the Russian Federation of 15.11.2002 N 3302-III DG "On the draft Federal Act N 209067-3" On restricting the turnover of leaded gasoline in the Russian Federation. – URL: <http://www.laws-russia.narod.ru/fed2002/data02/tex12502.htm>.
14. Rivera, M. Monitoring of heavy metal concentrations in home outdoor air using moss bags / M. Rivera, H. Zechmeister, M. Medina-Ramón [et al] // *Environmental Pollution*. – 2011. – Vol. 159. – P. 954–962. – DOI: 10.1016/j.envpol.2010.12.004.
15. Hu, Rong. Monitoring Heavy Metal Contents with *Sphagnum Junghuhnianum* Moss Bags in Relation to Traffic Volume in Wuxi / Rong Hu, Yun Yan, Xiaoli Zhou, Yanan Wang [et al] // *China, Int. Public Health*. – 2018. – Vol. 15. – 374 p.
16. Vuković, G. Moss bag biomonitoring of airborne toxic element decrease on a small scale: A street study in Belgrade, Serbia / G. Vuković, M. Aničić Urošević, S. Škrivanj [et al] // *Science of the Total Environment*. – 2016. – Vol. 542. – P. 394–403. – doi:10.20944/preprints201703.0064.v1.
17. Vuković, G. Active moss biomonitoring of small-scale spatial distribution of airborne major and trace elements in the Belgrade urban area / G. Vuković, M. Aničić Urošević, I. Razumenić [et al] // *Environ Sci Pollut Res Int*. – 2013. – V. 20. – P. 5461–5470. – DOI: 10.1007/s11356-013-1561-9.
18. Vuković, G. The first survey of airborne trace elements at airport using moss bag technique / G. Vuković, M. Aničić Urošević, S. Škrivanj [et al] // *Environ Sci Pollut Res*. – DOI 10.1007/s11356-017-9140-0.
19. Zinicovscaia, I. Active moss biomonitoring of trace elements air pollution in Chisinau, Republic of Moldova / I. Zinicovscaia, M. Aničić Urošević, K. Vergel [et al] // *Ecological Chemistry and Engineering S*. – 2018. – Vol. 25(3). – P. 361–372. – DOI: 10.1515/eces-2018-0024.
20. Zinicovscaia, I.I. Air Pollution Study in the Republic of Moldova Using Moss Biomonitoring Technique / I.I. Zinicovscaia, C. Hramco, O.G. Dului [et al] // *Bull. Environ. Contam. Toxicol*. – 2017. – Vol. 98(2). – P. 262–269. – DOI: 10.1007/s00128-016-1989-y.

ABSTRACTS

Arkhipova E.V., Zhigalin A.D., Bryantseva G.V., Guseva I.S., Tormysheva E.E. Features of long-term seismicity variations of active megastructures of the modern Earth

On the basis of comparative analysis of long-term variations in the number of earthquakes, a number of characteristic features of the seismic regime in various geodynamic settings, including the subduction, collision, riftogenesis and spreading, are established. Among them there is a coordinated synchronous or antiphase change in the number of earthquakes for the regions within a single megastructure, coordinated changes in the activity of earthquakes at different deep levels. The data obtained indicate the systemic unity of the manifestations of the earth's seismicity and allow us to use the method of comparative analysis to identify dynamically connected volumes of the lithosphere.

Keywords: long-term variations of seismic activity, modern geodynamic processes, coordinated variations in the number of earthquakes.

Zuev B.K., Peunkova E.S., Fadeykina I.N., Morzhukhina S.V. The oxythermography for investigation the distribution of organic substances to the face and transdermal properties of the skin

The paper considers the possibility of using the oxythermography method in cosmetology for quantitatively describe the distribution of organic substances on the surface of human skin. The total content of organic substances was experimentally evaluated in 15 points of the face. The transdermal properties of the skin surface with the penetration of cosmetic assets are considered on the example of hyaluronic acid.

Keywords: oxythermography, thermo-oxidative spectrum, oily skin texture, hyaluronic acid, high-temperature oxidation, quantitative determination of organic substance.

Omarova N.M., Tashenov A.K., Nurkassimova M.U., Kokoraeva A.K. Investigation of the composition of moss, which is a natural bioindicator, for air monitoring in the East Kazakhstan region

Here are the results of determining the chemical composition of moss in the East Kazakhstan region. The following research stages were carried out: harvesting plant materials; methods of taking samples of the studied material for analysis; determination of the concentration of elements by inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS). Developed methods for dry and wet ashing bioindicator. The results of the analysis of moss obtained by the ICP-MS method and the instrumental neutron activation analysis (INAA) method are compared. The reliability of the results of the analysis

by the method of additives and photometric determination of the concentration of elements was determined.

Keywords: moss-bioindicator, heavy metals, East Kazakhstan region, inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS), reference materials, microwave decomposition method, dry and wet ashing.

Popova E.S., Mikhailova A.V., Morzhukhina S.V., Zuev B.K. The chemical composition of the water of the fresh Lake Beloe (NP "Meshera") according to the method of atomic emission spectrometry with inductively coupled plasma

The paper presents new data on the chemical composition of the water of Lake Beloye (FSFI «NP "Meshera", Ryazan region) for 2018, which supplement those obtained earlier – in 2013, 2014 and 2016. The choice of the method of analysis is justified – AES (OES) -ISP, as express and highly sensitive. The obtained data characterize the elemental composition of the Lake water, and are also ecological information for the state of the natural object. According to the available observations, it can be said that at present the waters of Lake Beloe are completely defined as "clean" by quality.

Keywords: analytical chemistry, geochemistry, AES(OES)-ISP, natural water analysis, determination of elements, Beloe Lake, NP "Meshera", Russian Federation.

Rumyantseva N.S., Gusev K.N. Neutrinoless double beta decay experiments

Neutrinoless double beta decay is a lepton number violating process which is not allowed in the Standard Model (SM) of the electroweak interaction. The discovery of this process will be an unambiguous confirmation of the existence of New Physics outside the SM. At this moment many experiments are being conducted aimed at searching for neutrinoless double beta decay on various isotopes (^{76}Ge , ^{136}Xe , ^{130}Te , ^{100}Mo , etc.). The paper presents a brief overview of the results of some current projects, such as GERDA, MAJORANA, KamLAND-Zen, EXO-200, CUORE and SuperNEMO, and plans for creating a new generation experiments.

Keywords: neutrinoless double beta decay, Standard model, New Physics, detectors.

Savvateeva O.A., Shakhova N.A., Starostina I.A. Formation of ecological culture at the present stage

In this article the condition of society ecological culture formation process at the present stage is considered. Ecological culture is directed to forming of harmonious relationship between the person and the environment, the organization of any activity according to fundamental laws of the nature and the principles of sustainable development in society. Without ecological aspects in our daily life it is impossible to pass to sustainable development. In work factors of ecological cul-

ture formation process, the main aspects and problems, trends in the field of ecological culture, experience of foreign countries and also experience of Dubna city in the sphere of ecological education system creation for increase of population ecological culture level are analyzed.

Keywords: environment, environmental management, ecological education, ecological culture, ecological outlook.

Stepchenkov V.S. Valganov S.V. Caucasus dolmens photogrammetry efficient experience in resource-limited settings

The article presents a field experience in photogrammetric imagery and the Caucasus dolmen culture objects processing. This work objective is developing creative high quality three dimensional simple method in resource-limited settings. This approach analyzes insufficiently explored and hard-to-reach dolmen groups with interesting technical and cult elements. The objects are located in the Tuapse region: on the Mezetsu and Bzeuls ridges and on the upper of the Psynako river. As a result, we received eight high-precision models. There are seven standalone objects models and the three dolmens in these. Also, this article the collecting features and field data processing indicates. We believe our experience might be useful not in archaeology only but in other disciplines with similar objects fixing difficulties.

Keywords: archaeological heritage, photogrammetry, 3d-modeling, Pshenaho, Bzeuls, Mezetsu, dolmen culture of Caucasus, middle bronze age, Caucasus, dolmen.

Shvetsova M.S., Kamanina I.Z., Frontasyeva M.V., Madadzada A.I., Zinikovskaia I.I., Pavlov S.S., Vergel K.N., Yushin N.S. Active moss biomonitoring using the "moss bag technique" at the state museum-reserve "Tsaritsyno"

Moscow is a large metropolis in which the air is affected by the constant effects of chemicals produced by industrial facilities, vehicles, residential heating and other human activities on a daily basis. The protected and park areas on the territory of Moscow have an important recreational role, therefore, air quality control in these territories should be carried out first. Active moss biomonitoring has been used as an alternative method to conventional atmospheric monitoring for more than 40 years. This type of biomonitoring is successfully applied all over the world: in China, Serbia, Moldova, Azerbaijan, Italy, Romania, etc. In this study, active moss biomonitoring was used for the first time on the territory of the Tsaritsyno Museum-Reserve to assess the air pollution. The moss species *Sphagnum girgensohnii* was chosen for the experiment. Neutron activation analysis was used to determine the concentrations of the elements: Na, Mg, Al, Cl, K, Ca, Sc, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Zn, Se, As, Br, Rb, Mo, Sr, Sb, Ba, Cs, La, Sm, Tb, Ce, Hf, Ta, W, Th, and U. The concentrations of Pb, Cu, and Cd were determined by atomic absorption spectrometry.

Keywords: neutron activation analysis, heavy metals, *Sphagnum girgensohnii*, active biomonitoring, recreational zones.

**Порядок публикации статей в журнале
«Вестник Международного университета природы, общества и человека Дубна»**

Журнал издаётся с ноября 1996 года, является изданием университета «Дубна».

Основные рубрики, по которым принимаются оригинальные, актуальные, не публиковавшиеся ранее материалы:

- Естественные и технические науки.
- Экономика и управление.
- Социальные и гуманитарные науки.
- Информационные науки.
- Педагогика.

Осуществляется обязательная рассылка журнала в Книжную палату РФ, библиотеки других вузов страны, Московской области и города Дубна, авторам и др.

Содержание журналов с 2005 года представлено на сайте университета «Дубна».

К сотрудничеству приглашаются специалисты и исследователи в указанных областях, докторанты, аспиранты, преподаватели вуза.

Для публикации статьи необходимо представить в редакцию журнала:

— **материал** в электронном и печатном виде (текст в MS Word, рисунки в виде графических файлов — согласно Правилам оформления рукописей, действующим в университете «Дубна»), объёмом до 10 печатных страниц формата А4;

— оформленный бланк «**Передача авторского права и декларация об обязанности**» (см. приложение);

— **рецензию на статью** (одну внешнюю либо две внутренние);

— **индекс УДК** к статье;

— **аннотацию** к статье на русском и английском языках,

— **перевод на английский язык** названия статьи и фамилии, имени, отчества авторов;

— **ключевые слова** к статье — 5—6 слов или словосочетаний на русском и английском языках;

— **сведения об авторе(ах)** — полностью фамилия, имя, отчество, ученая степень, звание, место работы и должность; координаты: рабочий, мобильный телефон, адрес электронной почты;

— **пристатейный «Библиографический список»** — не менее пяти наименований.

Редакция может публиковать статьи в порядке обсуждения, не разделяя точки зрения авторов. Авторы опубликованных статей несут ответственность за точность приведённых фактов, статистических данных, собственных имён и прочих сведений, а также за содержание материалов, не подлежащих открытой публикации.

Адрес редакции

141982, г. Дубна Московская обл.,

ул. Университетская, 19

Тел.: (+7 49621)6-60-89, 1355

E-mail: izdat@uni-dubna.ru



Не секрет, что выбор профессии имеет огромное значение для каждого выпускника среднего учебного заведения. Для любознательных ребят, интересующихся естественными и инженерными науками, желающих попробовать себя в научно-исследовательской деятельности, и, вероятно, в будущем планирующих продолжать свое обучение в вузе, а также для их наставников-учителей факультет естественных и инженерных наук (ФЕИН) на базе государственного университета «Дубна» ежегодно проводит ряд мероприятий. Их основная цель – помочь абитуриентам правильно определиться с выбором будущей профессии и уверенней себя чувствовать во время приемной компании. В 2019–2020 учебном году будут организованы:

1. Многопрофильная инженерная олимпиада «Звезда». Период проведения: ноябрь 2019 г. (отборочный тур) и февраль 2020 г. (заключительный тур).

В организации Олимпиады задействованы крупнейшие холдинги и компании, являющиеся членами Союза машиностроителей России, а также ведущие технические вузы страны. На площадке в г. Дубна олимпиада проводится по следующим направлениям: «Естественные науки», «Технологии материалов» и другие.

2. Фестиваль актуального научного кино «ФАНК». Период проведения: ноябрь 2020 г.

Основная концепция фестиваля – показ современных научно-документальных фильмов из сферы естественных и точных наук, а также проведение мини-лекций и дискуссий по темам фильмов с учеными и преподавателями университета.

3. День базовых кафедр университета «Дубна». Дата проведения: январь 2020 г.

На факультете естественных и инженерных наук 2 базовых кафедры (Нанотехнологий и новых материалов и Биофизики), преимущественно ориентированных на подготовку своих выпускников для Объединенного института ядерных исследований (ОИЯИ).

В этот день, кроме традиционного знакомства с университетом «Дубна», желающие могут посетить основные лаборатории ОИЯИ, пообщаться с ведущими учеными, которые одновременно преподают в университете, узнать о достижениях современной науки.

4. Региональная конференция по естественным наукам (секции: «Химия», «Науки о Земле», «Физика») для учащихся 7–11 классов. Период проведения: февраль 2020 г. На конференции участники будут иметь возможность продемонстрировать результаты своих научных исследований по химии, географии, экологии, биологии или физике. Победители и призеры получают дополнительные 10 и 8 баллов к результатам ЕГЭ при поступлении на направления обучения ФЕИН.

5. Региональная олимпиада по естественным наукам (предметы: «Химия», «География», «Физика») для учащихся 7–11 классов. Дата проведения: апрель 2020 г.

Результаты олимпиады позволят абитуриентам оценить свой уровень знаний по естественным наукам. Победители и призеры получают дополнительные 10 и 8 баллов к результатам ЕГЭ при поступлении на направления обучения ФЕИН.

6. Летняя Химическая Школа для учащихся 7–10 классов. Период проведения: июнь 2020 г.

Основная задача школы – реализация экспериментального научного проекта учащимися 7–10 классов в лабораториях университета «Дубна» на современном оборудовании с привлечением преподавателей, аспирантов и студентов кафедры химии, новых технологий и материалов. Для ребят во время работы школы организуются научно-популярные лекции, занимательные опыты по химии, культурно-экскурсионная программа. Заканчивается школа научной конференцией с презентациями выполненных проектов и награждением участников.

Контакты: тел.: 8(49621) 6-27-27 (приемная комиссия);

8(49621) 6-60-95 (факультет ЕиИН).

сайт: <http://fein.uni-dubna.ru/>

E-mail: fein@uni-dubna.ru

**Добро пожаловать в университет «Дубна»
и на факультет естественных и инженерных наук!**