



ИНСТИТУТ ГЕОЛОГИИ
И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ
ДВО РАН

VI Всероссийская конференция с международным участием

**Вопросы геологии
и комплексного изучения экосистем Восточной Азии**

СБОРНИК ДОКЛАДОВ

4-7 октября 2022 г., г. Благовещенск

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ИНСТИТУТ ГЕОЛОГИИ И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ
ДАЛЬНЕВОСТОЧНОГО ОТДЕЛЕНИЯ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

**ВОПРОСЫ ГЕОЛОГИИ
И КОМПЛЕКСНОГО ИЗУЧЕНИЯ ЭКОСИСТЕМ
ВОСТОЧНОЙ АЗИИ**

**Шестая Всероссийская научная конференция
с международным участием
04–07 октября 2022 г., Благовещенск**

Сборник докладов
Электронное издание

Благовещенск
2022

Вопросы геологии и комплексного изучения экосистем Восточной Азии : Шестая Всерос. науч. конф. с междунар. участием : сб. докладов. – Благовещенск: ИГиП ДВО РАН, 2022. – 248 с. (электронное издание)
ISBN 978-5-6046753-5-9

Участники конференции:

- Амурский государственный университет, г. Благовещенск
- АФ БСИ ДВО РАН, г. Благовещенск
- Алтайский государственный аграрный университет, г. Барнаул
- Белорусский государственный технологический университет, г. Минск
- Благовещенский государственный педагогический университет, г. Благовещенск
- Всероссийский НИИ рыбного хозяйства и океанографии («ВНИРО»), г. Москва
- Геологический институт им. Н.Л. Добрецова СО РАН, г. Улан-Удэ;
- Государственный океанографический институт имени Н.Н. Зубова («ГОИН»), г. Москва
- Дальневосточный государственный аграрный университет, Благовещенск
- Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, г. Владивосток
- Зоологический институт РАН, г. Санкт-Петербург
- Институт лесоведения РАН, с. Успенское
- Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр СО РАН», г. Красноярск
- Институт водных и экологических проблем ДВО РАН, г. Хабаровск
- Институт химии ДВО РАН, 690022, г. Владивосток, Россия
- Институт комплексного анализа региональных проблем, г. Биробиджан;
- Институт геологии и минералогии СО РАН, Новосибирск;
- Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН, г. Иркутск
- Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, г. Москва

- Институт геологии и природопользования ДВО РАН, г. Благовещенск
- Институт биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар
- Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва
- МФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Мытищи
- ООО «Амургеология», г. Благовещенск
- Покровский автоклавно-гидрометаллургический комплекс АО «Покровский рудник»
- РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, г. Москва
- Санкт-Петербургский государственный университет, г. СПб
- Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова
- СВКНИИ ДВО РАН, г. Магадан
- Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина, г. Сыктывкар
- Томский политехнический университет, г. Томск
- Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, Владивосток
- ФБУ Дальневосточного НИИ лесного хозяйства, г. Хабаровск
- ФГБУН Институт экономических исследований ДВО РАН, г. Хабаровск
- ФГБУ «Заповедное Приамурье», г. Хабаровск
- ФГБОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», г. Владивосток
- ФГБОУ ВО Приморская ГСХА, г. Уссурийск
- Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН, г. Кемерово
- ФНИЦ Биоразнообразия наземной биоты восточной Азии ДВО РАН, г. Владивосток
- ХФИЦ, Институт горного дела ДВО РАН
- Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН, Москва

Шестая Всероссийская научная конференция «Вопросы геологии и комплексного изучения экосистем Восточной Азии» проводится по инициативе Института геологии и природопользования ДВО РАН раз в два года, начиная с 2010 г.

В рамках конференции обсуждается широкий круг вопросов от эволюции крупных геологических структур, геохимии, минералогии магматических комплексов, закономерностей формирования полезных ископаемых до разработки методов комплексного освоения природных ресурсов и геоэкологии.

Основная тематика докладов:

1. Магматизм, метаморфизм и геодинамика основных геологических структур Дальнего Востока.
2. Минералогия, геохимия месторождений полезных ископаемых, закономерности их формирования.
3. Геология, история формирования и минерализации осадочных бассейнов. Стратиграфия.
4. Методики комплексного освоения минеральных ресурсов, экономика минерального сырья.
5. Геоэкология
6. Палеонтология
7. Лесные экосистемы и почвоведение

Сопредседатели оргкомитета конференции
академик РАН А.И. Ханчук (ДВГИ ДВО РАН)
чл.-корр. РАН А.А. Сорокин (ИГиП ДВО РАН)

Ученый секретарь конференции
к.б.н. Н.Ю. Леусова (ИГиП ДВО РАН)
Сайт ИГиП ДВО РАН <http://ignm.ru/>

ISBN 978-5-6046753-5-9

© ИГиП ДВО РАН, 2022

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

Агеев О.А.	82, 85
Андросов Д.В.	53,56
Антонченко В.В.	118
Бапинаев Р.А.	185, 191
Богой А.П.	185, 191
Болотский И.Ю.	185, 191
Болотский Ю.Л.	191
Бородина Н.А.	90
Бредюк О.А.	92
Брикманс А.В.	193
Брянин С.В.	131,199
Ветошкина А.В.	118
Вертебный В.Е.	125
Витенко Д.Д.	191
Волкова Ю.Я.	4
Воропаева Е.Н.	50
Гатаулина Г.Н.	138
Гилев А.М.	193
Гиренко И.В.	103, 107
Горбач Н.М.	195
Горин С. Л.	165
Глазунов Ю.Б.	217
Григорьев Д.В.	185, 191
Гуль Л.П.	197
Данилов А.В.	199
Дементенко А.И.	39
Демчук В.А.	99
Дербекко И.М.	4
Доброшевский К.Н.	53
Дорохова Л. А.	121
Дубей Д.	217
Дутин С. В.	79
Дударев О.В.	135
Дриль С.И.	32
Дымов А.А.	195
Евграфова С.Ю.	227
Еранская Т.Ю.	96
Ермацанс И.А.	188
Желтова А.И.	123
Жижерин В.С.	8, 21
Жирнов А.М.	11
Завалюев А.С.	66
Заика В.А.	14
Замолодчиков Д.Г.	202, 208
Звягинцев В.Б.	206
Иваников С.В.	53
Иванов А.Вас.	92
Иванов А.Викт.	202, 208
Ишук Т.А.	125
Кадашникова А.Ю.	17
Калиниченко Б.Б.	99
Карабцов А.А.	56
Катола В.М.	127
Киселева И.В.	152
Климова О.А.	211
Колчанов В.В.	191
Колесников А.А.	21
Кондратова А.В.	131, 214
Котельникова И.М.	131
Коротков С.А.	217
Корыгова С.В.	197
Кузьмина Т.В.	118
Кузьмин И.Т.	185, 191
Крюков В.Г.	34
Кузнецова И.В.	39
Лаврик Н.А.	42
Лежнев Д.В.	217
Леусов А.Э.	135,148
Леусова Н.Ю.	138

Литвинова Н.М	42
Литвиненко И.С.	46
Ломов В.Д.	220
Любченков Д.А.	185, 191
Мазур Е.В.	191
Максимов П.Н.	111
Мартынов А.В.	223
Масягина О.В.	227
Митрохин А.Н.	24
Моисеенко Н.В.	50
Молчанов В.П.	53, 56
Мудровская Н. В.	66, 70
Неволин П.Л.	24
Нерода О.Н.	58, 62
Нестерова О.В.	193
Новикова Е.Е.	231
Овчинников Р.О.	28
Остапенко Н.С.	58, 62
Павлова Л.М.	121, 140, 144
Парахин И.А.	191
Пилецкая О.А.	231
Пипко И.И.	148
Пинчук А.Г.	206
Пономарчук В.А.	17
Прокушкин А.С.	195
Прокушкин С.Г.	227
Приходько О.Ю.	242
Пугач С.П.	148
Пуртова Л.Н.	152
Пушкин А.А.	103, 107
Радомская В.И.	175, 179
Римкевич В.С.	103, 107
Рождествина В.И.	66, 70
Рудмин М.А.	111
Савин М.А.	235, 239, 246
Савина П.А.	239
Сафина Н.М.	73
Сегренев А.С.	114, 116
Семаль В.А.	193
Синькова И.С.	156, 162
Синякова Н.И.	73
Скучас П.П.	185, 191
Смирнов Ю.В.	30
Смирнова Ю.Н.	32
Соловьёв И.Д.	242
Сорокин А.А.	28
Сорокин А.П.	82, 85, 107
Старцев В.В.	195
Степанов М.С.	111
Уткин В.П.	24
Терский П.Н.	165
Холодилова В.В.	227
Хомченко О.С.	159
Хомяков Ю.В.	125
Хубанов В.Б.	14
Цаан К.Ф.	246
Чаркин А.Н.	135
Шестеркин В.П.	162, 165
Шестеркина Н.М.	162
Шлоттауэр С.Д.	167, 171
Шумилова Л.П.	144, 175, 179
Элбакидзе Е.А.	88
Юдаков А.А.	53
Юркова Т.А.	76,131
Юсупов Д.В.	121
Яворская Н.М.	183

ВУЛКАНИТЫ ОБРАМЛЕНИЯ ВОСТОЧНОГО ФЛАНГА МОНГОЛО-ОХОТСКОГО ОРОГЕНА, КОМАГМАТИЧНЫЕ ПОЗДНЕМЕЗОЗОЙСКИМ АДАКИТОВЫМ ГРАНИТОИДАМ

И.М. Дербеко¹, *derbeko@mail.ru*, Ю.Я. Волкова²

¹Институт геологии и природопользования ДВО РАН, г. Благовещенск,

²ООО «Амургеология», г. Благовещенск

В настоящее время получены доказательства, что позднеюрские-раннемеловые гранитоиды обрамления восточного фланга Монголо-Охотского орогена (МОО) относятся к породам адакитовой серии [1, 2]. Форма залегания, текстурные и структурные особенности гранитоидов указывают на гипабиссальное происхождение. Эти факты позволяют предполагать наличие их вулканических комагматов. В южном обрамлении МОО описаны вулканы, отнесённые авторами [3] к позднеюрскому кудикунчинскому вулканическому комплексу.

Кудикунчинский вулканический комплекс установлен впервые в бассейне Верхнего Амура, руч. Кудикунчик [3]. Породы комплекса образуют небольшое вулканическое поле, представленное трахириолитами покровной и субвулканической фаций с характерной рыжеватой окраской, низкой плотностью, обилием вторичных образований и характерной мелкопорфировой структурой. Порфировые выделения образованы плагиоклазами с высоким содержанием анортитовой составляющей (до андезина), а в субвулканических разновидностях – анортотоклазом и железистым ортоклазом. Темноцветные минералы фактически, отсутствуют. Это высококалиевые породы, но в сумме щелочей преобладает Na_2O при соотношении $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O} = 1.2-1.6$. Умереннощелочные ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} = 8.7-11.7$ мас.%) образования известково-щелочной серии, пералюминиевые ($\text{ASI} = 0.9-1.1$), низкомагнезиальные, низкотитанистые. Вулканы обогащены LREE, но в них значительно снижены содержания Nb и Ta, при аномально низких концентрациях HREE, Y и Yb. Распределение REE (рис. 1) в вулканитах сильно фракционированно $(\text{La}/\text{Yb})_n = 22-30$, спайдердиаграммы характеризуются положительной аномалией Eu: $(\text{Eu}/\text{Eu}*)_n = 1.9-3.9$. Трахириолиты отличаются также высоким соотношением $\text{Sr}/\text{Y} = 190-640$.

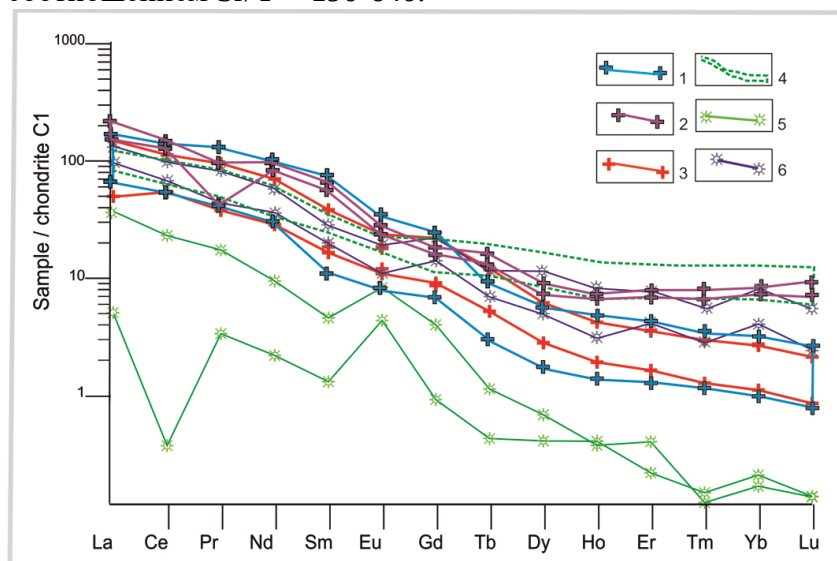


Рис. 1. Концентрации редких и редкоземельных элементов в гранитоидах адакитовой серии чубачинского (1, 2), магадачинского (3) плутонических; в гранитоидах известково-щелочной серии (4), в вулканитах кудикунчинского (5) и угоханского (6) вулканических комплексов, нормализованных к составу хондрита по (Sun, McDonough, 1989).

По времени формирования и вещественным характеристикам вулканы кудикунчинского поля сопоставимы гранитоидам магдагачинского плутонического комплекса [1]. Комплекс представлен умереннощелочными гранитами, гранит-порфирами и лейкогранит-порфирами; редко – гранитами, гранит-порфирами нормального ряда и кварцевыми сиенит-порфирами. Они слагают крупные массивы, силло- или лополитообразные тела, положение которых в пространстве согласуется с дислоцированностью вмещающих стратифицированных образований от докембрия до юры. Петротипическими особенностями гранитоидов является наличие крупнопорфировидных структур, обусловленных выделениями калиевого полевого шпата размером до 10 см и дымчатого кварца; повышенная щелочность; наличие зональных плагиоклазов. Эти структурно – текстурные особенности характеризуют породы магдагачинского комплекса как гипабиссальные образования.

Гранитоиды магдагачинского комплекса, как и вулканы кудикунчинского, высококалиевые, пералюминиевые ($ASI=0.6-0.8$). Характеризуются преобладанием Na_2O над K_2O ($Na_2O/K_2O = 1.3-1.8$), низкой магнезиальностью и умеренной титанистостью. Они обогащены Ba, Rb, Th, K, при пониженных содержаниях Nb и Ta и аномально низких концентрациях HREE, Y и Yb. Распределение REE в гранитоидах характеризуется слабо выраженной или положительной аномалией Eu: $(Eu/Eu^*)_n = 0.77-1.23$ при значении соотношения $(La/Yb)_n = 26.45-64.13$ (рис. 1).

Позднеюрский возраст гранитоидов - 145 ± 5 млн. лет, вулканитов - 147 ± 8 млн. лет установлен по результатам изотопных исследований Rb-Sr и K-Ar методами соответственно [3].

В северном обрамлении МОО выделен чубачинский плутонический комплекс адакитовых гранитоидов [2], сопоставимый по времени формирования и вещественному составу магдагачинскому плутоническому комплексу. Гранитоиды чубачинского комплекса характеризуются различными структурами с преобладанием порфировых разновидностей и незначительными колебаниями содержания щелочей и кремнезема: граниты субщелочные, гранит-порфиры субщелочные, граносиениты и граносиенит-порфиры, гранит-порфиры. В порфировых разностях вкрапленники представлены желтовато-белым (иногда слегка зеленоватым) плагиоклазом, дымчатым кварцем, бледно-розовым калиевым полевым шпатом (ортоклазом, ортоклаз-пертитом или микроклином), биотитом (не более 10 %), мусковитом (до 3 %) и в единичных случаях - зернами сине-зеленой роговой обманки. Основная масса, как и полнокристаллические разновидности, имеет аналогичный состав при отсутствии дымчатого кварца, который здесь представлен прозрачными агрегатами. Вторичные минералы в сумме не превышают 3%, преобладают хлорит, эпидот и серицит. Аксессуары представлены сфеном, цирконом, апатитом, магнетитом. Гранитоиды чубачинского комплекса принадлежат субщелочной серии, граниты нормальной серии отмечаются редко. Они являются переходными разновидностями между породами адакитовой серии и известково-щелочной серии, что отражено на (рис. 1). По содержанию K_2O гранитоиды чубачинского комплекса относятся в основном к высококалиевым породам известково-щелочной серии, при $Na_2O + K_2O = 7.76-9.78$ мас.%, с повышенными содержаниями Na_2O (в основном более 4.4 мас.%) при соотношении $Na_2O/K_2O = 1.02-1.58$, представлены как магнезиальными, так и железистыми разновидностями, индекс глиноземистости (ASI) = $0.65-0.74$, что характерно для гранитов I-типа. Гранитоиды характеризуются повышенными концентрациями Sr (до 1900 г/т), Ba (до 2750 г/т); с содержаниями Rb (до 73 г/т), Th (до 14 г/т); пониженными содержаниями Nb (4.0 - 11.0 г/т), Ta (0.4 - 0.6 г/т) и аномально низкими концентрациями HREE (в г/т): Tb (0.11 - 0.35), Dy (0.4 - 2.5), Ho (0.08-0.40); Er (0.22-0.68); Tm (0.03-0.09); Lu (0.02-0.09), а также Y (1.6 - 11) и Yb (0.02 - 0.09). Редкие земли выявляют более сильное фракционирование: $(La/Yb)_n = 22-110$. В них также отмечается положительная Eu-я аномалия или её отсутствие: $(Eu/Eu^*)_n = 0.78 - 1.49$ (рис. 1).

Для гранитоидов чубачинского комплекса U-Pb методом по апатиту и циркону, были получены следующие определения возраста: 138-149 млн. лет [4, 5, 6].

В бассейне р. Угохан (междуречье руч. Рогочки - Иличи) выделено вулканическое поле, сложенное преимущественно андезитами и дацитами, относимыми к бомнакскому комплексу (119 – 97 млн. лет). На северо-западе этого поля они перекрывают туфолавы риодацитов.

Эти вулканиты характеризуются повышенными концентрациями Sr (до 670 г/т), Ba (до 1200 г/т); с содержаниями Rb (до 92 г/т), Th (до 13.3 г/т); пониженными содержаниями Nb (7.0 - 9.6 г/т), Ta (0.6 - 0.9 г/т) и низкими концентрациями HREE (в г/т): Tb (0.32 - 0.41), Dy (1.4 - 2.5), Ho (0.22 - 0.43); Er (0.71 - 0.91); Tm (0.07-0.10); Lu (0.07-0.14), а также Y (5.7 - 11.04) и Yb (0.63 - 0.85). Редкие земли выявляют чётко выраженное фракционирование: $(La/Yb)_n = 21-30$. В них также отмечается слабо положительная Eu-я аномалия или её отсутствие: $(Eu/Eu^*)_n = 0.74 - 0.80$ (рис. 1).

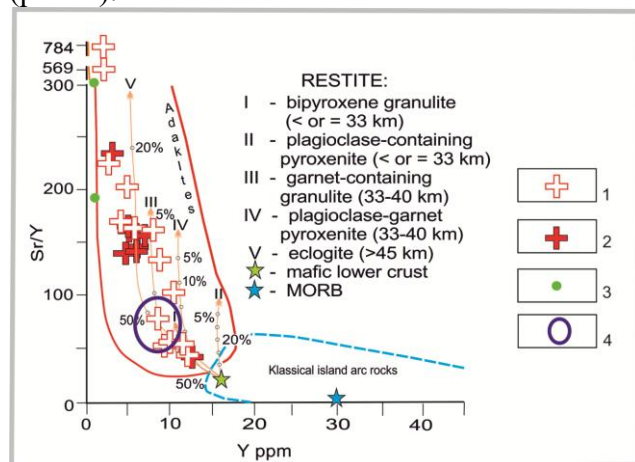


Рис. 2. Положение гранитоидов чубачинского (1), магдагачинского (2) и вулканитов кудикунчинского (3), угоханского (4) комплексов на диаграмме Sr/Y – Y [8]. Кривые частичного плавления рассчитаны для плавления мафитов нижней коры Северо-Китайского кратона из работы [7].

На диаграммах Sr/Y - Y [8 - 10] фигуративные точки чубачинских и магдагачинских гранитоидов, а также вулканитов кудикунчинского и угоханского комплексов располагаются в пределах поля классических адакитов (рис. 2).

Положение рассматриваемых пород на диаграмме соотношения Sr/Y - Y (рис. 2) не только подтверждает их принадлежность к породам адакитовой серии, но и говорит о том, что они сформированы на глубине более 45 км за счёт плавления эклогита с содержанием граната 20-50%.

Отличия в геохимических характеристиках пород адакитовой серии южного и северного обрамления объясняется тем, что при их формировании принимали участие континентальные коры различного состава и времени образования. В южном обрамлении плавлению подвергались супракrustальные породы протерозоя, а в северном, кроме протерозойских, присутствовали и архейские образования. Этот факт подтверждается Sr-Nd изотопными характеристиками адакитовых гранитоидов (3).

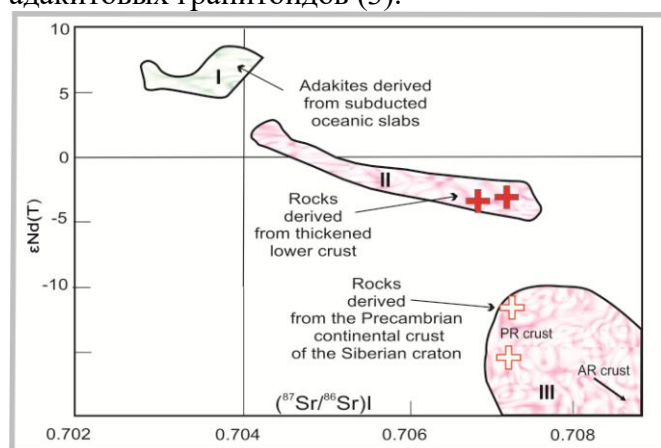


Рис. 3. Положение гранитоидов адакитовой серии на диаграмме соотношения $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i - \epsilon\text{Nd}(t)$ из работы [2]. Поля адакитовых дериватов из субдукционного океанического слэба - I; континентальной нижней коры Северо-Китайского кратона - II, стрелки указывают на значения адакитовых гранитов южного обрамления ВФ МООП по [1]. Докембрийская континентальная кора Сибирского кратона - Алданского щита - III, стрелки указывают на значения адакитовых гранитов северного обрамления ВФ МОО.

Вывод. Полученные данные на настоящее время позволяют предположить, что вулканиты кудикунчинского и угоханского комплексов являются комагматами адакитовых гранитоидов магдагачинского и чубачинского комплексов. Но эти предположения требуют дальнейшего изучения и подтверждения.

Литература

1. Derbeko I.M., Chugaev A.V. Late Mesozoic adakite granites of the southern frame of the eastern flank of the Mongol-Okhotsk orogenic belt: material composition and geodynamic conditions of formation // *Geodyn. & Tectonoph.* 2020. № 11(3). С 474–490.
2. Дербеко И.М. Позднемезозойские адакитовые граниты северного обрамления восточного фланга Монголо-Охотского орогенного пояса // *Геохимия* (в печати).
3. Козырев С.К., Волкова Ю.Р. и др. Государственная геологическая карта РФ масштаба 1:200 000. Серия Зейская. Листы N-51- XXIII,-XXIV,-XXIX,-XXX. С.-Пб.: ВСЕГЕИ. 2002.
4. Ларин А.М., Котов А.Б., Сальникова Е.Б., Ковач В.П., Сергеева Н.А., Яковлева С.З. Мезозойские граниты Чубачинского массива тукурингского комплекса (Джугджуро-Становая складчатая область): новые геохимические, геохронологические и изотопно-геохимические данные // *Петрология*. 2001. Т.9. № 4. С. 417-432.
5. Стриха В.Е. Мезозойские гранитоиды золотоносных районов Верхнего Приамурья. Часть 1.- Благовещенск: Изд-во АмГУ. 2012. - 187 с.
6. Тимашков А.Н., Шатова Н.В. и др. Геохронологические исследования гранитоидов Становой складчатой области // *Региональная геология и металлогения*. 2015. №61. С. 35-50.
7. Ma Q., Zheng J. P., Xu Y. G., Griffin W. L., Zhang R. S. // Are continental “adakites” derived from thickened or foundered lower crust? *Earth. Planet. Sci. Lett.* 2015. №419. P. 125-133.
8. Defant, M.J., Drummond, M.S. Derivation of some modern arc magmas by melting of young subducted lithosphere // *Nature*. 1990. № 347. P. 662-665.
9. Martin, H. The mechanisms of petrogenesis of the Archean continental crust comparison with modern processes // *Lithos*. 1993. № 30. P. 373-388.
10. Martin, H., Smithies, R.H., Rapp, R. et. al. An overview of adakite-tonalite-trondhjemite-granodiorite (TTG), and sanukitoid: Relationships and some implications for crustal evolution // *Lithos*. 2005. № 79. P. 1-24.

ГЕОДИНАМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДНЫХ СИСТЕМ НА ТЕРРИТОРИИ ВЕРХНЕГО ПРИАМУРЬЯ

В.С. Жижерин^{1,2}, votarist@ascnet.ru

1 Институт геологии и природопользования ДВО РАН, Благовещенск

2 Дальневосточный государственный аграрный университет, Благовещенск

Современное состояние дел в нашей стране, и в целом на мировой арене, требуют от научной среды мобилизации ресурсов с целью обеспечения энергетической безопасности в области добычи и дальнейшей транспортировки углеводородного сырья.

На территории Верхнего Приамурья располагается значительный участок, протяжённостью несколько сотен километров, трубопроводной системы Восточная Сибирь – Тихий Океан (ВСТО), обеспечивающий углеводородным сырьем не только потребности регионов юга Дальнего Востока России, но и северных провинций КНР.

Таким образом, устойчивый, безотказный режим функционирования ВСТО важен не только с точки зрения энергетической безопасности регионов России, но и с точки зрения получения доходов от экспорта углеводородов, значительно сократившегося после введения против нашей страны мер санкционного давления. Кроме того, возможное аварийное прекращение поставок углеводородного сырья в КНР, кроме сугубо экономических и экологических потерь вызовет также и репутационные потери нашей страны как надежного поставщика углеводородного сырья. Поэтому обеспечение непрерывного штатного режима функционирования трубопроводной системы ВСТО, является вопросом государственной важности.

Геодинамическая активность для большей части территории Верхнего Приамурья определяется сложным режимом взаимодействия (сжатие со скольжением) в области сочленения Евразийской и Амурской литосферных плит, впервые выделенной в работах Л.П. Зоненшайна с соавторами [4]. В настоящее время достоверно установлено, что наибольшие деформации, связанные со взаимодействием литосферных плит локализованы на их границах, в то время как на своих внутренних участках плиты деформируются весьма незначительно, и представляют собой довольно жесткую целостную структуру [1].

Однако, в последнее время появилось большое количество работ, в которых показано что даже далеко от границ литосферных плит, могут иметь место деформационные процессы высокой степени интенсивности, которые представляют значительную опасность для инфраструктурных объектов, находящихся в зоне влияния подвижных тектонических структур. Это обусловлено тем, что в составе каждой крупной литосферной плиты выделяется определенное количество более мелких тектонических блоков, разграниченных разломами различного ранга, перемещения по которым происходят с присущими им индивидуальными кинематическими характеристиками. Таким образом, каждая конкретная тектоническая единица представляет собой сложную, структурно-неоднородную, блоковую среду, в которой развиваются деформационные процессы различной направленности и интенсивности.

Комплексный анализ имеющихся геолого-геофизических данных о строении Верхнего Приамурья указывает на наличие в пределах исследуемого региона высокоамплитудных сдвиговых перемещений по разломным зонам, в том числе и датируемых неотектоническим этапом. Результаты геофизических исследований позволили выявить в земной коре региона ряд наклонных границ, ассоциируемых с разломами. Характер изменения плотности материала земной коры в этих разломных зонах отображает сосуществование как обстановок сжатия, так и обстановок растяжения [2].

Множество аварий на магистральных трубопроводах (по разным оценкам их доля доходит до 80 %), происходят в зонах влияния, пересекаемых ими, тектонических нарушений

[5]. Анализ причин возникновения аварийных ситуаций показывает, что технологические параметры (качество металла и сварных швов, железобетонных конструкций и т.д.) не являются основными причинами аварий. Технологические дефекты обычно проявляются в течение первых лет их эксплуатации, в дальнейшем аварии зачастую связаны с коррозионным растрескиванием под давлением (разрушение металла при одновременном воздействии химически агрессивной среды и действующих механических напряжений).

Внутритрубные исследования магистральных трубопроводов позволили установить, что возникновение множества дефектов связано с «усталостью металла», под которой понимается изменение механических и физических свойств материала, под длительным действием циклически изменяющихся напряжений и деформаций.

Анализ многолетних временных рядов, постоянно действующих ГНСС (глобальные навигационные спутниковые системы) станций отображает тот факт, что на длительных промежутках (десятилетия, годы) времени направление и скорость их горизонтальных смещений остается практически неизменным, однако при переходе к более краткосрочным интервалам (сезоны, недели) в параметрах смещения выявляются короткопериодические отклонения от трендовых значений, достигающих иногда значений в несколько сантиметров.

Большая часть пути нефтепровода ВСТО на территории Верхнего Приамурья построена с применением подземного типа укладки труб, при котором система трубопровод-порода должна рассматриваться как единая сплошная деформируемая среда. Исходя из этого можно предположить, что причиной множества аварий, не связанных с антропогенной деятельностью и технологическими дефектами, могут выступать нелинейные во времени и пространстве движения тектонических блоков, приводящие к возникновению существенных деформаций в массивах горных пород. Причем максимальные значения деформаций должны отмечаться в зонах влияния разрывных нарушений различного вида и ранга.

Оценка риска возникновения аварийных ситуаций на участке пересечения трубопроводом определенного тектонического нарушения должна также учитывать существующую геодинамическую обстановку, которая в свою очередь определяет тип и интенсивность деформационных процессов. Следует отделять такие понятия как «активный» и «опасный» разлом.

В пределах зоны влияния активного разлома обычно наблюдаются значительные, по сравнению с фоновыми, смещения дневной поверхности. Однако, если их режим имеет стационарный характер, они могут и не являться опасными, т.к. при таком поведении разлома деформации носят линейный характер, что позволяет службам мониторинга своевременно реагировать на риски достижения пределов прочности трубопроводной системы.

В зонах влияния опасного разлома выделяется одна или несколько компактных областей интенсивной линейной деструкции, для которых характерны изменяющие свою величину и/или направление перемещения, что значительно усложняет картину происходящих в этой области деформационных процессов. Поведение такого разлома описывается нелинейной динамикой, имеет стохастическую природу, и, следовательно, не может быть строго детерминировано.

На территории Верхнего Приамурья трубопроводная система ВСТО, в условиях близких к ортогональным, пересекает множество разрывных нарушений различного ранга (рисунок). Особо следует выделить Становую, Джелтулакскую, Северо- и Южно-Тукурингскую разломные зоны, в пределах которых, при протяженности разломной зоны в первые десятки км, можно выделить несколько разрывных нарушений, кинематика смещений по которым может отличаться.

Степень «опасности» конкретного разрывного нарушения в месте его пересечения с трубопроводной системой, может быть выявлена только в результате длительного наблюдения за его поведением, с учетом комплексного анализа имеющихся геолого-геофизических данных о его строении.

Стоит отметить, что деятельность ответственных служб мониторинга за опасными геологическими процессами на выделяемой территории не позволяет полноценно оценить степень активности и возможные короткопериодические изменения направленности

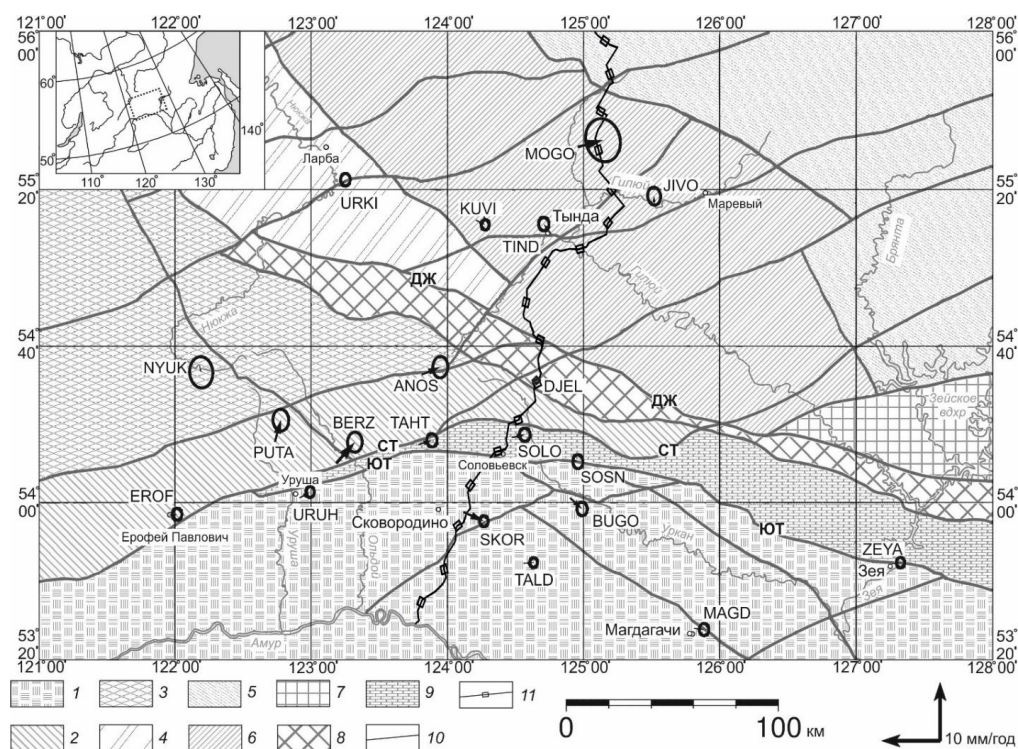


Рисунок. Схема блокового строения и поле горизонтальных скоростей смещений пунктов геодинимического полигона (составлена по материалам: [2, 3]). Главные тектонический структуры Верхнего Приамурья: 1 – Аргунский блок; 2-3 – структуры Селенга-Станового блока, подблоки: 2 – Урканский, 3 – Могочинский; 4-7 – Структуры Джугджуро-Станового блока, подблоки: 4 – Ларбинский, 5 – Брянтинский, 6 – Иликанский, 7 – Дамбукинский; 8-9 шовные зоны: 8 – Желтулакская шовная зона, 9 – Монголо-Охотский складчатый пояс; 10 – разломы различного ранга, из них наиболее активные: ЮТ – Южно-Тукурингский, СТ – Северо-Тукурингский, ДЖ – Желтулакский; 11 – трасса нефтепровода ВСТО. Вектора скорости смещений пунктов (стрелки) приведены относительно пункта DJEL с эллипсами 95 % доверительного интервала.

деформационных процессов. Основные задачи, на решение которых в своей работе ориентирована деятельность этих служб, как правило, заключены в установлении на локальных исследовательских полигонах типа и скорости имеющих место деформаций дневной поверхности вблизи разломной зоны.

Результаты подобных исследований не могут обеспечить качественное принятие управленческих решений в сфере корректирования процессов производственной деятельности, т.к. они не встроены в единую систему анализа полученных в ходе наблюдений данных, и синтеза на их основе новых знаний о деформируемой геосреде,

Создание единого центра мониторинга за геодинимическими процессами, происходящими на выделяемой территории, является актуальной задачей в рамках приоритетов научно-технологического развития Российской Федерации.

Литература

1. Altamimi Z., Rebischung P., Métivier L., Collilieux X. ITRF2014: A new release of the International Terrestrial Reference Frame modeling nonlinear station motions // J. Geophys. Res. Solid Earth. 2016.V. 121. P. 6109–6131.
2. Глубинное строение и металлогения Восточной Азии / Отв. ред. А.Н. Диденко, Ю.Ф. Малышев, Б.Г. Саксин. Владивосток: Дальнаука. 2010. 332 с.
3. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:1 000 000. Издание третье. Дальневосточная серия. Листы: N-51 (Сковородино), N-52 (Зея). СПб.: Картфабрика ВСЕГЕИ. 2009.
4. Зоненшайн Л.П., Савостин Л.А., Мишарина Л.А., Солоненко Н.В. Тектоника плит Байкальской горной области и Станового хребта // Доклады Академии Наук СССР. 1978. Т. 240, № 3. с. 669–672.
5. Панжин А.А. Методы мониторинга короткопериодных деформаций массива горных пород. // Геомеханика в горном деле: Доклады международной конференции. Екатеринбург, ИГД УрО РАН. 2003. — С. 59-69.

БОГАТЕЙШАЯ ПРОТЕРОЗОЙСКАЯ МАГМО-ТЕКТОНОПАРА БУШВЕЛЬД-ВИТВАТЕРСРАНД И СХОДНЫЕ СТРУКТУРЫ В ВОСТОЧНОЙ АЗИИА. М. Жирнов, *zhantmich@yandex.ru*

Институт комплексного анализа региональных проблем, г. Биробиджан

В Южной Африке известно два крупнейших в мире рудных объекта – интрузивный расслоенный массив сложного состава Бушвельд, с согласными хромовым, платиновым и железосодержащим слоями, и впадина Витватерсранд – с крупнейшими в мире месторождениями золота. Эти объекты открыты в конце XIX века, расположены совсем близко – в 30-40 км друг от друга, но рассматривались в литературе, как правило, отдельно. Дело в том, что месторождения золота во впадине Витватерсранд долгое время рассматривались как палеороссыпи и, соответственно, не относились к рудным объектам в классификациях месторождений полезных ископаемых. Однако во второй половине XX века и начале XXI века появилось много исследований, доказывающих гидротермально-метасоматическое происхождение этих месторождений [3-7, 9-11].

Размеры Бушвельдского рудоносного интрузивного массива: длина 500 км, ширина около 200 км. Он разрабатывается с 1919 г.

Разведанные металлы платиновой группы в массиве составляют 49.9 тыс. т (75 % мировых запасов платины и около 50 % мировых запасов палладия), при среднем содержании их в руде 5.7 г/т. Кроме того, разведаны запасы хромитов в количестве 1.78 млрд. т (с содержанием Cr_2O_3 37%), ванадия 3 млн. т, никеля 3.7 млн. т, меди 2.7 млн. т, Массив образовался в период 1.95-2.05 млрд. лет назад [6].

Впадина Витватерсранд, длиной 350 км и шириной 150 км, возникла на архейском кристаллическом фундаменте, в период 3.0-2.7 млрд. лет назад. Она сложена комплексом нижнепротерозойских пологозалегающих осадочных пород огромной мощности - около 20 км. Месторождение золота впервые обнаружено во впадине, близ г. Йоганнесбург, в 1986 г. Затем в бортах впадины было разведано 8 крупных рудных полей, из которых была добыта, к 2013 г., почти треть всего золота планеты – около 55 тыс. т и примерно столько же осталось в недрах впадины [5]. Ежегодно здесь добывалось около 1200 т золота.

Близкое структурное положение массива Бушвельд и впадины Витватерсранд, на пересечении крупных архейских разломов, и эндогенное происхождение месторождений золота во впадине доказаны впервые в работе [10], но и позже эти объекты рассматривались в науке отдельно. Структурно-парагенетическая связь указанных объектов впервые рассмотрена в работе [4].

В нижнем палеозое обе структуры были погружены и перекрыты осадочными породами, но в мезозое они были приподняты, а массив Бушвельд перекрыт местами молодыми базальтами.

На современном эрозионном срезе обе крупные геологические структуры представляют, низкогорный морфоструктурный свод северо-восточного простирания, между долинами рек Лимпопо на севере и Оранжевой на юге, сформированный на пересечении древних разломов меридионального, широтного и северо-восточного простирания (рис.1).

Массив Бушвельд имеет сложное строение. Краевые части его сложены перидотитами и габбро-норитами, а крупную центральную часть слагают многофазные граниты среднепротерозойского возраста. В южной части все породы массива рассекаются широким поясом даек диабазов, сиенит-порфиоров и отдельными штоками сиенитов, предположительно верхнепротерозойского возраста. В палеозое массив был опущен и прикрыт нижнепалеозойскими осадочными породами, а в мезозое – приподнят и покрыт в отдельных местах полями базальтов (рис.2).



Рис. 1. Современный низкогорный морфоструктурный свод между реками Лимпопо и Оранжевая, включающий магматический массив Бушвельд и впадину Витватерсранд – в долине реки Вааль (на пересечении трех разломных зон) [4, 10].

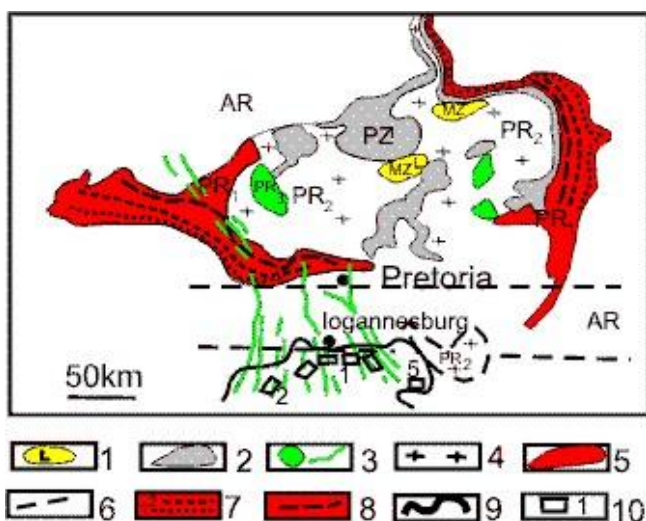


Рис. 2. Схема геологического строения массива Бушвельд и северной части впадины Витватерсранд [3, 8]
1 – базальты; 2- нижнепалеозойские осадочные породы; 3 – дайки и штоки диабазов и сиенит-порфиров; 4 граниты; 5 – базит-ультрабазитовая часть плутона; 6 – разломы; 7 – слой хромитов (низ) и платиноидов; 8 –слой титано-магнетитовый; 9 – корнтур впадины Витватерсранд; 10 – золоторудные районы: 1 – Центральный Ранд, 2 – Клерсдорф, 5 - Евандер.

Северная часть впадины Витватерсранд расположена в 30-40 км от южной границы массива Бушвельд – в зоне крупного широтного разлома. Она пересекается здесь широким поясом даек диабазов и сиенит-порфиров позднепротерозойского возраста, а в северо-восточном углу пересекается массивом бушвельдских гранитов. Именно в этой части впадины локализована главная часть золоторудных районов (6) провинции (рис. 2). Золотое оруденение сформировано после даек, вблизи которых содержания золота возрастают от 20-25 г/т до 500-700 г/т [4].

Сходные рудоносные структуры известны и в Восточной Азии. Это Чинейско-Удоканская и Геткано-Улканская структуры.

Чинейско-Удоканская нижнепротерозойская структура находится в Северо-Восточном Забайкалье, южнее г. Чары. Она локализована в Кодаро-Удоканском прогибе длиной 240 км и шириной 50-90 км, среди архейских гнейсов и кристаллических сланцев.

Чинейский расслоенный интрузивный массив, размером 18 x 9 км, сложен габбро-норитами, габбро и, реже, пироксенитами и анортозитами. В нем локализовано Чинейское комплексное медно-железо-титан-ванадиевое месторождение, с сопутствующими золотом (1-2.5 г/т) и серебром (12.9 г/т) [1, 9].

Удоканское месторождение медистых песчаников локализовано, согласно, в раннепротерозойской толще осадочно-метаморфических пород, слагающих асимметричную складку с крутыми крыльями (рис. 3). Возраст пород 2 млрд. лет. Разведанные запасы меди составляют более 20 млн. т, при среднем содержании меди 1.5 %. Попутные компоненты – серебро со средним содержанием 13 г/т и золото с содержанием 0.5 г/т (в концентрате) [1]. Месторождение является одним из крупнейших в мире.

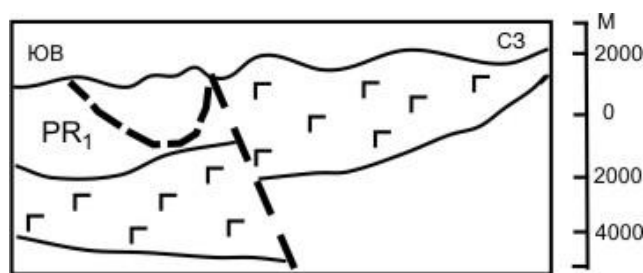


Рис. 3. Схема геологического строения Чинейского плутона и Удоканского месторождения меди – черный пунктир [9].

Геткано-Улканская структура расположена на восточном фланге Станового хребта. Она представлена Гетканским массивом габбро-анортозитов архейского возраста, в пределах Станового хребта, и раннепротерозойской Улканской вулканогенной впадиной - к северу от массива, отделенной от него Северо-Становым широтным разломом (рис. 4).

В пределах Гетканского массива локализовано несколько месторождений фосфор-ванадий-железородного состава.

Улканская впадина сложена эффузивами двух комплексов – нижним трахибазальтового состава и верхним комплексом трахириолитового состава. Эффузивы прорваны интрузивами трех этапов: штоками и дайками габброидов раннего этапа, крупным Улканским массивом субщелочных гранитов в центре впадины, и штоками и дайками габбро и перидотитов завершающего этапа. Абсолютный возраст Улканского массива гранитов 1676-1720 млн. лет.

В пределах впадины локализованы месторождения двух формаций – редкометалльно-урановые ранние и золоторудные поздние, с возрастом 1350-1150 млн. лет. Крупная золоторудная зона, длиной 17.5 км и с содержаниями золота от 1-2 до 12.6 г/т, расположена на северном фланге Улканского массива гранитов. Ресурсы золота в ней значительные. Существенными перспективами обладают и месторождения урана [2].

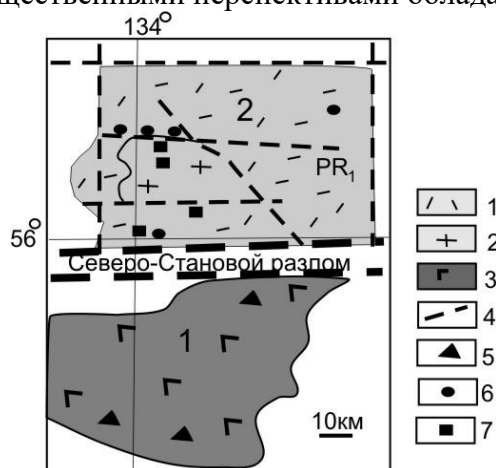


Рис. 4. Схема расположения Гетканского массива и Улканской впадины [2, 4]

1 – кислые эффузивы; 2 – Улканский гранитный массив; 3 – Гетканский массив габбро-анортозитов; 4 – разломы; 5 – фосфор-ванадий-железородные месторождения; 6 – месторождения золота; 7 – месторождения урана.

Литература

1. Володин Р.Н., Четкин В.С., Богданов Ю.В. и др. Удоканское месторождение медистых песчаников (Восточная Сибирь) // Геология рудных месторождений. 1996. № 1. С. 3-30.
2. Гурьянов В.А. Геология и металлогения Улканского района (Алдано-Становый щит). Владивосток. Дальнаука, 2007. 227 с.
3. Долгушин С.С. Проблема поисков в России золоторудных месторождений типа Южно-Африканского Витватерсранда // Золотодобыча и технологии. 2018. № 4. С. 3-19.
4. Жирнов А.М. Металлогения золота Дальнего Востока. Владивосток. Дальнаука, 2012. 248 с.
5. Портнов А.М. Секреты золотого гиганта // Природа. 2013. № 9. С. 27-32.
6. Старостин В.И. Металлогения. М.: Унив-т «Книжный дом», 2012. 560 с
7. Старостин, В. И., Сакия Д.Р. Эволюция взглядов на происхождение золоторудного месторождения Витватерсранд // Вестник Московского унив-та. 2015. № 2.
8. Смирнов В.И., Гинзбург А.И., Григорьев В.М., Яковлев Г.Ф. Курс рудных месторождений. М.: Недра, 1981. 348 с.
9. Туговик Г.И. Флюидно-эксплозивные структуры и пластовое оруденение. М.: Наука, 1989. 192 с.
10. Фаворская М.А., Томсон И.Н., Баскина В.А. и др. Глобальные закономерности размещения крупных рудных месторождений. М.: Недра, 1974. С. 192.
11. Шилов Н.А. Витватерсранд и проблема его образования // М.: Смирновский сборник, 2007. С. 51-64.

ПЕРВЫЕ СВЕДЕНИЯ О ВОЗРАСТЕ МЕТАМОРФИЧЕСКИХ ТОЛЩ СОФИЙСКОГО КУПОЛА (МОНГОЛО-ОХОТСКИЙ СКЛАДЧАТЫЙ ПОЯС)

В.А. Заика¹, *zaika_v_a_88@mail.ru*, В.Б. Хубанов²

¹ Институт геологии и природопользования ДВО РАН, г. Благовещенск

² Геологический институт им. Н.Л. Добрецова СО РАН, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6а, 670074

Монголо-Охотский орогенный пояс является одним из значимых структурных элементов восточной Азии. Он протягивается в виде узкой (до 300 км) полосы на 3000 км от Центральной Монголии до Удской губы Охотского моря. История формирования этого пояса привлекает к себе внимание нескольких поколений геологов, однако, многие аспекты его эволюции до сих пор не ясны и вызывают острые споры [1,2,3,4 и др.]. Наиболее дискуссионными являются вопросы о возрасте и взаимоотношениях геологических комплексов, участвующих в строении пояса, а также времени и характере проявления аккреционных и коллизионных процессов.

В связи с весьма редкими и скудными находками ископаемой фауны и флоры в слабометаморфизованных осадочных породах Монголо-Охотского пояса, ведущую роль в получении информации об их возрасте играют результаты U-Pb геохронологических исследований детритовых цирконов. Кроме того, эти результаты, в совокупности с Lu-Hf и Sm-Nd изотопными данными, позволяют решать достаточно широкий спектр задач в части установления источников сноса обломочного материала, направленности зон субдукции.

В данной работе мы представляем результаты U-Pb геохронологических исследований детритовых цирконов из метаосадочных отложений "Софийского купола" [5], находящегося в зоне Пауканского разлома в восточной части Монголо-Охотского складчатого пояса.

В пределах "Софийского купола" условно к нижнему карбону отнесены сложно дислоцированные метаморфизованные саларинская и ипатинская толщи [5]. Эти толщи имеют близкий литологический состав и различаются степенью минеральных преобразований пород. Саларинская толща сложена порфиробластическими слюдисто-кварц-альбитовыми порфиробластическими, альбит-актинолитовыми, альбит-эпидот-актинолитовыми сланцами с линзами мраморов. В составе ипатинской свиты преобладают слюдистые микрокварциты, актинолит-хлорит-альбитовые, эпидот-актинолит-альбитовые сланцы, метапесчаники, встречаются линзы мраморов. Приводятся данные (см. обзор в [5]) о том, что в пределах "Софийского купола" доминируют лежащие изоклинальные складки, в ядерных частях которых представлены порфиробластические сланцы ипатинской толщи. Какие-либо сведения о возрасте саларинской и ипатинской толщ отсутствуют. На основании исторической корреляции этих отложений с афанасьевской и талыминской свитами Селемджинского террейна принят их условно раннекаменноугольный возраст [5].

Исходя из представлений о строении "Софийского купола" (см. обзор в [5]) его периферическая часть сложена породами нижнекембрийской олгинской толщи. Толща представлена филлитизированными алевролитами, глинистыми сланцами, песчаниками, углеродсодержащими сланцами, кремнистыми породами, metabазальтами. Представления о возрасте толщи основываются на находках раннекембрийской микрофауны [5], хотя стратиграфический объем толщи, корреляция с другими стратонами остаются дискуссионными.

Непосредственными объектами наших исследований являлись:

- филлитизированный алевролит (обр. V-191) нижнекембрийской олгинской толщи;
- слюдисто-кварц-альбитовый сланец (обр. V-189) условно раннекаменноугольной саларинской толщи.

Извлечение циркона выполнено в Аналитическом центре минералого-геохимических исследований ФГБУН Институт геологии и природопользования ДВО РАН (г. Благовещенск) с применением тяжелых жидкостей. U-Th-Pb геохронологические исследования

индивидуальных зерен выполнены в ФГБУН Геологический институт СО РАН (г. Улан-Удэ). Детальное описание аналитических процедур приведено в работе [6].

Из филлитизированного алевrolита *олгинской толщи* (обр. V-191) было проанализировано 120 зерен циркона, из которых для 88 получены конкордантные оценки возраста. Преобладающая часть зерен имеет палеозойский и раннемезозойский возрасты со значениями пиков на графике относительной вероятности ~481, ~459, ~250 и ~212 млн лет; в подчиненном количестве присутствуют зерна с эдиакарским (пик ~743 млн лет) возрастом. Встречаются единичные зерна с мезопротерозойским и палеопротерозойским возрастами, не образующие статистически значимых популяций. Конкордантный возраст наиболее молодой популяции цирконов составляет 206 ± 2 млн лет.

Из 110 изученных зерен детритовых цирконов из слюдисто-кварц-альбитового сланца *саларинской толщи* (обр. V-189) конкордантные оценки возраста получены для 81 зерна. Подавляющее количество зерен имеет палеозойский и раннемезозойский возрасты со значениями пиков на графике относительной вероятности ~501, ~465, ~308, ~258 и ~196 млн лет. Присутствуют одно зерно с палеопротерозойским, одно – с архейским возрастом. Конкордантный возраст наиболее молодой популяции цирконов составляет 184 ± 2 млн лет.

Результаты выполненных геохронологических исследований детритовых цирконов свидетельствуют о том, что нижняя возрастная граница филлитизированного алевrolита *олгинской толщи* составляет ~206 млн лет (поздний триас). Это находится в резком противоречии с существующими представлениями [5] о раннекембрийском возрасте толщи. Как было отмечено выше, представления об ее геологическом возрасте основываются на находках раннекембрийской микрофауны, хотя повторные попытки сбора фауны не увенчались успехом [5]. Последнее обстоятельство, а так же дискуссионность стратиграфического объема толщи и корреляции с другими стратонами, позволяет предполагать, что в контуре *олгинской толщи* на геологической карте последней генерации [5] объединены разновозрастные породы. Как минимум, это две группы пород, а именно: с раннекембрийской фауной и с позднетриасовой нижней возрастной границей.

В соответствии с результатами геохронологических исследований, нижняя возрастная граница слюдисто-кварц-альбитового сланца составляет ~184 млн лет (ранняя юра). Данный факт не соответствует существующим соображениям [5] о раннекаменноугольном возрасте отложений. Однако, эти соображения не подкреплены какими-либо свидетельствами, в связи с чем, полученные нами данные, являются первыми сведениями о возрасте рассматриваемой толщи.

Благодарности. Авторы благодарят сотрудников Аналитического центра минералого-геохимических исследований Института геологии и природопользования ДВО РАН (г. Благовещенск) Е.Н. Воропаеву, О.Г. Медведеву, С.Г. Некрасову за подготовку мономинеральных фракций циркона, персонал ЦКП Аналитический центр минералого-геохимических и изотопных исследований Геологического института СО РАН (г. Улан-Удэ) за проведение U-Pb изотопных исследований и лабораторию изотопной геологии Института геологии и геохронологии докембрия РАН за выполнение Sm-Nd изотопных исследований.

Исследования выполнены при поддержке Российского научного фонда (проект 18-17-00002).

Литература

1. Парфенов Л.М., Попеко Л.И., Томуртогов О. Проблемы тектоники Монголо-Охотского орогенного пояса // Тихоокеанская геология. 1999. Т. 18. № 5. С. 24–43.
2. Парфенов Л.М., Берзин Н.А., Ханчук А.И. и др. Модель формирования орогенных поясов Центральной и Северо-Восточной Азии // Тихоокеанская геология. 2003. Т. 22. № 6. С. 7–41.
3. Геодинамика, магматизм и металлогения востока России. Ред. Ханчук А.И. Владивосток: Дальнаука. 2006. Кн. 1. 572 с.

4. Khanchuk A.I., Didenko A.N., Popeko L.I., Sorokin A.A., Shevchenko B.F. Structure and Evolution of the Mongol-Okhotsk Orogenic Belt // The Central Asian Orogenic Belt. Geology, Evolution, Tectonics, and Models. Ed. Alfred Kröner. Germany. Stuttgart. Borntraeger Science Publishers. 2015. P.211 – 234.
5. Забродин В.Ю., Гурьянов В.А., Кисляков С.Г. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации м-ба 1:1 000 000. Серия Дальневосточная. Лист N-53. Третье поколение. - СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2007.
6. Хубанов В.Б., Буянтуев М.Д., Цыганков А.А. U-Pb изотопное датирование цирконов из PZ3-MZ манматических комплексов Забайкалья методом магнитно-спекторной масс-спектрометрии с лазерным пробоотбором: процедура определения и сопоставления с SHRIMP данными // Геология и геофизика. 2016. Т.57. №1. С. 241-258.

ВОЗРАСТ ЗОЛОТОГО ОРУДЕНЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЭЛЬГИНСКОЕ (ВОСТОЧНАЯ ЧАСТЬ МОНГОЛО-ОХОТСКОГО СКЛАДЧАТОГО ПОЯСА)

А.Ю. Кадашникова¹, *akadashnikova@gmail.com*, В.А. Пономарчук², *ponomar@igm.nsc.ru*

¹Институт геологии и природопользования ДВО РАН, Благовещенск

²Институт геологии и минералогии СО РАН, Новосибирск

Интенсивные тектонические и магматические процессы, сопровождавшие формирование Монголо-Охотского складчатого пояса, одну из главнейших структур Центральной и Восточной Азии, обусловили возникновение большого количества рудных месторождений, как в самом поясе, так и на обрамляющих его окраинах. Существует несколько теорий образования подобных месторождений, традиционно относимых к орогенному типу (см. обзор в [1-3]). В настоящее время наиболее распространены метаморфогенная и метаморфогенно-деформационная модели формирования месторождений орогенного типа [2, 3]. Протестировать ту или иную модель формирования возможно только при наличии надежных геохронологических данных.

В данной работе приведены результаты изотопно-геохронологических исследований гидротермально-метасоматических рудных процессов золоторудного месторождения Эльгинское, расположенного в восточной части Монголо-Охотского складчатого пояса наряду с такими золоторудными месторождениями как Маломыр, Унгличikan, Албын и др. Оно входит в состав Харгинского рудного поля и расположено в пределах Селемджино-Кербинской структурной зоны [4] или одноименного террейна аккреционного клина [5].

Эльгинское месторождение локализовано в серицит-кварц-полевошпатовых, кварц-серицит-углеродистых и мусковит-кварц-альбитовых сланцах талыминской свиты. Интрузивные породы в пределах рудного поля представлены условно позднекаменноугольными плагиогранитами златоустовского комплекса, субвулканическими трахириолитами раннемелового унериканского комплекса, дайками диоритовых порфириров позднемеловых селитканского и баджало-дуссеалинского комплексов [4].

Оруденение на Эльгинском месторождении контролируется разрывными нарушениями северо-западного простирания. Рудные тела концентрируются в зонах дробления, катаклаза, брекчирования, затронутых окварцеванием, альбитизацией, серицитизацией, карбонатизацией. В пределах месторождения выделено более десяти рудных тел, разбитых на несколько блоков. Это пластообразные залежи, границы которых устанавливаются только по данным опробования. Рудные тела мощностью 0,5-15 м сложены углеродсодержащими серицит-полевошпат-кварцевыми, серицит-кварц-полевошпатовыми, альбит-кварцевыми метасоматитами, локализованными в толще кварц-полевошпат-сланцев. В межзерновом пространстве породообразующих минералов, преимущественно среди серицита, по сланцеватости пород часто наблюдается углеродистое вещество в виде волосовидных, ленточных скоплений разной плотности. Содержание сульфидов в рудах составляет 1-5 %. Они представлены преимущественно арсенопиритом, пиритом, пирротином, редко халькопиритом, сфалеритом, галенитом [4, 6].

Для установления возраста гидротермально-метасоматических процессов нами были проведены геохронологические (⁴⁰Ar/³⁹Ar метод) исследования рудных метасоматитов и гидротермально-метасоматически измененных углеродсодержащих серицит-полевошпат-кварцевых сланцев талыминской свиты с повышенным содержанием золота рудных тел 4 и 8 (АК-85, АК-124), а также вмещающих оруденение кварц-серицит-углеродистых сланцев (АК-81, АК-90), относимых [4] к талыминской свите.

$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ изотопно-геохронологические исследования выполнены в Институте геологии и минералогии СО РАН (г. Новосибирск) методом ступенчатого прогрева по методике, опубликованной в работах [7, 8].

Результаты проведенных исследований сводятся к следующему (возраст приведен с погрешностью $\pm 2\sigma$):

1) возраст серицита с примесью углеродистого вещества (углисто-слюдистый агрегат) из серицит-полевошпат-кварцевого рудного метасоматита (обр. АК-85) при расчете по плато (76 % выделенного ^{39}Ar) составляет 139 ± 4 млн лет;

2) возраст серицита с примесью углеродистого вещества (углисто-слюдистый агрегат) из гидротермально-метасоматически измененных углеродсодержащих серицит-полевошпат-кварцевых сланцев с повышенным содержанием золота (обр. АК-124) при расчете по плато (89 % выделенного ^{39}Ar) составляет 137 ± 3 млн лет;

3) возраст серицита с примесью углеродистого вещества (углисто-слюдистый агрегат) из кварц-серицит-углеродистых сланцев (обр. АК-81) талыминской свиты, при расчете по плато (88 % выделенного ^{39}Ar) составляет 139 ± 3 млн лет;

4) возраст серицита с примесью углеродистого вещества (углисто-слюдистый агрегат) из кварц-серицит-углеродистых сланцев (обр. АК-90) талыминской свиты, при расчете по плато (82 % выделенного ^{39}Ar) составляет 139 ± 4 млн лет.

Полученные результаты исследования свидетельствуют о том, что возраст гидротермально-метасоматических рудных процессов, приведших к формированию месторождения Эльгинское, в первом приближении, может быть оценен интервалом 139–137 млн лет. Близкая оценка возраста ранее получена для рудных метасоматитов месторождения Унгличikan ~ 140 –136 млн лет ($^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ метод по адуляру, [9]). Несколько более молодой возраст получен для рудных метасоматитов месторождения Маломыр ~ 134 –130 млн лет ($^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ метод по серициту, адуляру, [10]), Албын ~ 131 –130 млн лет ($^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ метод по мусковиту, [11]). Все упомянутые выше месторождения расположены в Селемджинско-Кербинской структурной зоне восточной части Монголо-Охотского складчатого пояса.

Геохронологические свидетельства проявления магматизма в пределах рассматриваемого региона с возрастом, близким к возрасту оруденения (139–137 млн лет), отсутствуют, поэтому невозможно связать формирование золотого оруденения месторождения Эльгинское с магматическими процессами. Так, наиболее ранние интрузивные породы в пределах исследуемого района представлены плагиогранитами златоустовского комплекса, для которых получены определения возраста в интервале 393–250 млн лет [4, 5], что в любом случае существенно древнее оруденения. Субвулканические тела унериканского комплекса, а также дайки селитканского и баджало-дуссеалинского комплексов, которые встречаются в пределах рудного поля, имеют, наоборот, более молодой возраст (моложе 105 млн лет [4, 12, 13, 14]).

На основании изотопных данных [15, 16], а также переинтерпретации палеомагнитных данных [17] формирование на месте Монголо-Охотского океана орогенного сооружения приходится на рубеж ранней и средней юры (~ 174 млн лет). Следовательно, возраст формирования месторождения Эльгинское (139–137 млн лет), как и других месторождений восточной части Монголо-Охотского пояса [18], существенно оторван от возраста орогенеза в этом поясе. В этой связи нам остается связать формирование этих месторождений с процессами деформации орогена, проявившимися уже после закрытия океанического бассейна. Результаты проведенных геохронологических исследований подтверждают возможность такой интерпретации. В частности, для серицитов из кварц-серицит-углеродистых сланцев (обр. АК-81 и АК-90) талыминской свиты получен возраст 139 млн лет. Он полностью соответствует возрасту серицита из рудных метасоматитов (обр. АК-124 и АК-85). Стоит обратить внимание, что образцы АК-81 и АК-90 отобраны вне рудной зоны месторождения Эльгинское для характеристики возраста собственно метаморфических процессов, и они практически не содержат золота. В этой связи напрашивается тезис о том, что последний этап метаморфизма

(термального прогрева) и деформаций регионального характера, с одной стороны, и рудоотложения, с другой, имеют один и тот же возраст [19].

Кроме того, результаты недавних исследований [18] свидетельствуют о том, что в восточной части Монголо-Охотского складчатого пояса проявлено четыре региональных термальных события: 172–166, 157–149, 141–135 и 133–128 млн. лет. С учетом данных [16, 17], первое из установленных термальных событий 172–166 млн. лет может быть связано с коллизионными процессами; соответственно, три последующих события являются пост-коллизионными. Два последних события 141–135 и 133–128 млн. лет проявлены в пределах золоторудных месторождений восточной части Монголо-Охотского пояса и отражают два этапа проявления рудного процесса. Ни одно из этих событий не сопровождалось магматической деятельностью в пределах этой части пояса, что указывает на их тектоническую природу.

Таким образом, результаты проведенных исследований позволяют сформулировать следующие выводы:

1) возраст гидротермально-метасоматического рудного процесса, приведшего к формированию месторождения Эльгинское, может быть оценен в интервале 139–137 млн лет;

2) возраст термального события, наложенного на породы талыминской свиты вне рудного поля, составляет 139 млн лет, что, вероятно, является свидетельством регионального характера этого события;

3) по мнению авторов, определяющую роль в мобилизации, перераспределении рудного вещества и формировании месторождения Эльгинское сыграли региональные дислокационные процессы, сопровождаемые гидротермально-метасоматической деятельностью и проявившиеся после формирования орогенных структур Монголо-Охотского пояса.

Авторы выражают благодарность руководству ЗАО ГК "Петропавловск", ООО "НПГФ "Регис" за помощь в организации полевых работ и сборе материалов.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 18-17-00002.

Литература

1. Горячев Н.А. Месторождения золота в истории Земли // Геология рудных месторождений. 2019. Т. 61. № 6. С. 3–18.
2. Савчук Ю.С., Волков А.В. Крупные и суперкрупные орогенные золотые месторождения: геодинамика, структура, генетические следствия // Литосфера. 2019. Т. 19. № 6. С. 813–833.
3. Goldfarb R.J., Groves D.I. Orogenic gold: Common or evolving fluid and metal sources through time // Lithos. 2015. V. 233. P. 2–26.
4. Агафоненко С.Г., Сережников А.Н., Яшнов А.Л., и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:200 000. Издание второе. Серия Тугурская. Лист N-53-XXVI (Златоустовск) / Ред. А.В. Махинин. СПб.: ВСЕГЕИ; 2002.
5. Сорокин А.А., Кудряшов Н.М., Сорокин А.П., Рублев А.Г., Левченков О.А., Котов А.Б., Сальникова Е.Б., Ковач В.П. Геохронология, геохимия и геодинамическая позиция палеозойских гранитоидов восточного сегмента Монголо-Охотского складчатого пояса // Докл. АН. 2003. Т. 392. № 6. С. 807–812.
6. Моисеенко Н.В., Харитонов В.И., Сафронов П.П. Особенности самородного золота Эльгинского и Албынского рудопоявлений Харгинского рудного узла // Вестник АмГУ. Серия Естественные и экономические науки. Благовещенск: АмГУ. 2013. Вып. 63. С. 129–133.
7. Пономарчук В.А., Лебедев Ю.Н., Травин А.В., Морозова И.П., Киселева В.Ю., Титов А.Т. Применение тонкой магнитно-сепарационной технологии в K–Ar, ^{40}Ar – ^{39}Ar , Rb–Sr методах датирования пород и минералов // Геология и геофизика. 1998. Т. 39 (1). С. 55–64.
8. Травин А.В., Юдин Д.С., Хромых С.В., Волкова Н.И., Мехоношин А.С., Владимиров А.Г., Колотилина Т.Б. Термохронология Чернорудской гранулитовой зоны (Ольхонский регион, Западное Прибайкалье) // Геохимия. 2009. Т. 11. С. 1181–1199.
9. Кадашников А.Ю., Сорокин А.А., Пономарчук А.В., Травин А.В., Пономарчук В.А. Первые $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ геохронологические данные для рудных метасоматитов золоторудного месторождения Унгличкан (восточная часть Монголо-Охотского складчатого пояса) // Геодинамика и тектонофизика. 2020. Т. 11. № 4. С. 672–677.
10. Кадашников А.Ю., Сорокин А.А., Пономарчук В.А., Травин А.В., Пономарчук А.В., Эйриш Л.В. Закономерности локализации оруденения, возраст и источники вещества золоторудного месторождения Маломыр (восточная часть Монголо-Охотского складчатого пояса) // Геология рудных месторождений. 2019. Т. 61. № 1. С. 3–17.

11. Кадашникова А.Ю., Сорокин А.А., Пономарчук А.В., Травин А.В., Пономарчук В.А., Дементенко А.И., Эйриш Л.В. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ возраст золоторудных метасоматитов месторождения Албын, Монголо-Охотский складчатый пояс // Тихоокеан. геология. 2019. Т. 38. № 6. С. 89–98.
12. Дербеко И.М., Сорокин А.А., Сальникова Е.Б., Котов А.Б., Сорокин А.П., Яковлева С.З., Федосеенко А.М., Плоткина Ю.В. Возраст кислого вулканизма Селитканской зоны Хингано-Охотского вулканоплутонического пояса (Дальний Восток России) // Докл. АН. 2008. Т. 418. № 2. С. 221–225.
13. Дербеко И.М., Сорокин А.А., Пономарчук В.А., Травин А.В. Первые геохронологические данные лав кислого состава Эзоп-Ямалинской вулканоплутонической зоны Хингано-Охотского вулканогенного пояса // Докл. АН. 2008. Т. 419. № 1. С. 95–99.
14. Забродин В.Ю., Гурьянов В.А., Кисляков С.Г., Кременецкая Н.А., Махинин А.В., Опалихина Е.С. Государственная геологическая карта Российской Федерации. 1:1 000 000. Серия Дальневосточная. Лист N-53. Третье поколение. С-Пб.: ВСЕГЕИ, 2007.
15. Demonterova E.I., Ivanov A.V., Mikheeva E.A., Arzhannikova A.V., Frolov A.O., Arzannikov S.G., Bryanskiy N.V., Pavlova L.A. Early to Middle Jurassic history of the southern Siberian continent (Transbaikalia) recorded in sediments of the Siberian Craton: Sm-Nd and U-Pb provenance study // Bulletin de la Société Géologique de France. 2017. V. 188 (1–2). P. 1–29.
16. Sorokin A.A., Zaika V.A., Kovach V.P., Kotov A.B., Xu W. Timing of closure of the eastern Mongol–Okhotsk Ocean: constraints from U–Pb and Hf isotopic data of detrital zircons from metasediments along the Dzhangdy Transect // Gondwana Research. 2020. V. 81. P. 58–78.
17. Yi Z., Meert J.G. A Closure of the Mongol–Okhotsk Ocean by the Middle Jurassic: Reconciliation of Paleomagnetic and Geological Evidence // Geophysical Research Letters. 2020. V. 47. Is. 15. e2020GL088235.
18. Sorokin A.A., Zaika V.A., Kadashnikova A.Yu., Ponomarchuk A.V., Travin A.V., Ponomarchuk V.A., Buchko I.V. Mesozoic thermal events and related gold mineralization in the eastern Mongol–Okhotsk Orogenic Belt: constraints from regional geology and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating // International Geology Review. 2022. DOI: 10.1080/00206814.2022.2092781
19. Кадашникова А.Ю., Сорокин А.А., Пономарчук А.В., Травин А.В., Пономарчук В.А. Возраст золоторудного месторождения Эльгинское (Монголо-Охотский складчатый пояс): $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ геохронологические ограничения / Тихоокеанская геология. 2022. Т. 41. № 2. С. 89–100.

АНАЛИЗ ПРЕДСТАВИТЕЛЬНОСТИ СЕЙСМИЧЕСКИХ КАТАЛОГОВ ДЛЯ ТЕРРИТОРИИ ВЕРХНЕГО ПРИАМУРЬЯ

А.А. Колесников¹, alex17@ignm.ru; В.С. Жижерин^{1,2}, votarist@ascnet.ru

1 Институт геологии и природопользования ДВО РАН, Благовещенск

2 Дальневосточный государственный аграрный университет, Благовещенск

На тектонических картах Верхнее Приамурье выделяется наличием сложной разломно-блоковой структуры [3]. Степень активности разломных зон, а также тип преобладающих в них деформаций, можно охарактеризовать исходя из анализа данных о произошедших на выделяемой площади землетрясениях. Для этого данные сейсмических каталогов необходимо сопоставить с разломно-блоковым строением изучаемой территории.

Основной проблемой при таком сопоставлении может стать то, что сейсмические каталоги, выпускаемые различными агентствами, имеют различную представительность. Представительными землетрясениями в каталоге считаются те, которые для данной сейсмической сети станций регистрируются без пропусков, и оценки параметров которых не содержат систематических ошибок [4].

Главными факторами, обуславливающими представительность каталогов землетрясений, являются: регистрационные возможности сети сейсмических станций (используемое оборудование и условия его размещения), ее пространственная конфигурация, вычислительные мощности центра обработки поступающих со станций данных и методические подходы, используемые для определения основных параметров сейсмического события [4].

В данной работе анализируются данные каталога, опубликованного Международным сейсмологическим центром (МСЦ) [1], который был создан при содействии ЮНЕСКО для сбора, архивирования и обработки сейсмических данных с целью определения параметров общемировой сейсмичности. И каталога, опубликованного Сахалинским филиалом геофизической службы РАН (СФ ГС РАН) [4], в задачи которого входят накопление фонда сейсмических данных на территории юга Дальнего Востока России и получение на их основе сейсмологических характеристик выделяемой территории.

На первом этапе исследования из каждого каталога были отобраны сейсмические события, произошедшие с 1970 года по 2016 год на территории Верхнего Приамурья, в пределах области с координатами 53.33°-56° с.ш., и 122°-126° в.д.

Далее из этой выборки были исключены события магнитуды которых в каталогах оценивались меньше 3 и больше 4. События магнитудой < 3 были исключены, по причине неясности природы их происхождения. Сейсмические события малых магнитуд, представленные в обоих каталогах, могут иметь как природный, так и искусственный характер, связанный с инфраструктурной деятельностью человека по добыче полезных ископаемых и масштабными строительными работами. События с магнитудой > 4 были исключены из анализа, так как они не отражают процесс непрерывного деформирования земной коры, в силу своей малочисленности на исследуемой территории. Также из анализа были исключены сейсмические события, связанные с афтершоками имевших место сильных землетрясений.

В итоге количество удовлетворяющих описанным выше критериям сейсмических событий из каталога СФ ГС РАН составило 189, а из каталога МСЦ - 168.

Визуализация поля эпицентров сейсмических событий в сопоставлении со схемой разломной тектоники была выполнена с помощью пакета научной графики Surfer V.18 компании Golden Software. Уточненная схема разломов для изучаемой территории составлена на основе схемы разломной тектоники, представленной в государственной геологической карте РФ [3].

Главными критериями, которыми руководствовались при составлении уточненной схемы являлись: ранг разлома (оставлены только первостепенные, имеющие глубинную природу), наличие сведений о кинематике разлома (неотектонической активности), а также факт разграничения разломом блоков с существенно различным геологическим строением.

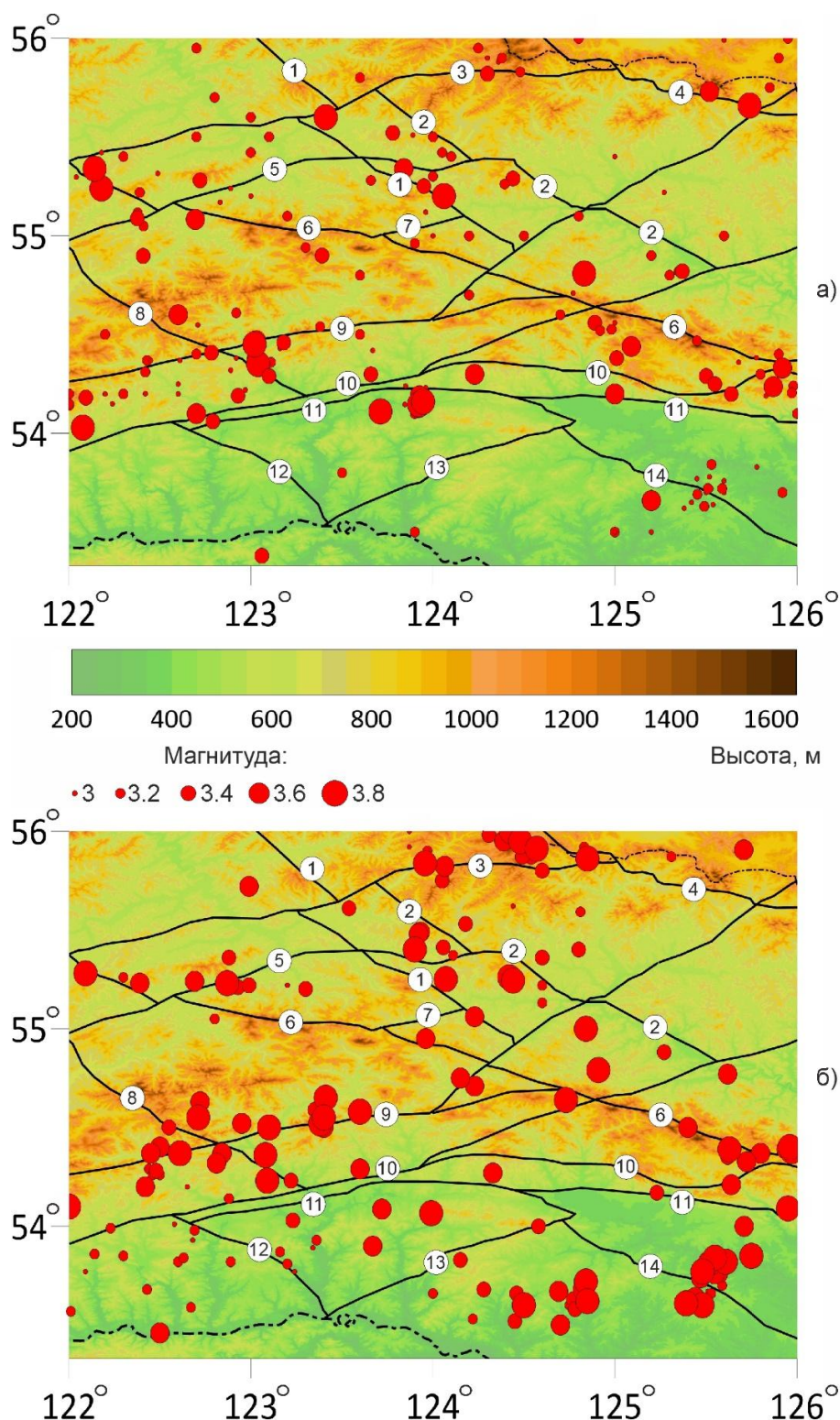


Рисунок 1. Схемы разломов Верхнего Приамурья и эпицентры землетрясений на основе каталогов СФ ГС РАН – (а), и МСЦ – (б). Основные разломы: 1 – Хорогочинский; 2 – Пригильойский; 3 – Тунгиро-Моготский; 4 – Становой; 5 – Урюмо-Инарогдинский; 6 – Желтулакский; 7 – Лукидинский; 8 – Олекмо-Бурдюнский; 9 – Могоча-Сергачинский; 10 – Северо-тукурингский; 11 – Южно-Тукурингский; 12 – Рейновский; 13 – Неверский; 14 – Магдагачинский.

На рисунке 1 (а), где приведены данные из каталога СФ ГС РАН можно видеть, что эпицентры землетрясений, в значительной своей части приурочены к зонам влияния разломов, во внутренних частях крупных тектонических блоков значимых сейсмических событий не отмечается, события наибольших магнитуд тяготеют к узлам пересечения разломной сети, количество событий для каждого интервала магнитуд находится в близких пределах.

На рисунке 1 (б), где приведены данные из каталога МСЦ можно видеть, что эпицентры землетрясений более рассеяны по площади, во внутренних частях крупных тектонических блоков отмечаются события больших магнитуд, что противоречит классическим представлениям геотектоники [2], количество событий для каждого интервала магнитуд распределено непропорционально (количество сильных землетрясений на некоторых интервалах превосходит количество более слабых).

Совместный анализ представленных на рисунке данных об разломно-блоковом строении исследуемой области и о пространственном распределении в ее пределах сейсмических событий позволяет сделать следующий вывод: сейсмичность территории Верхнего Приамурья более достоверно отображает каталог СФ ГС РАН.

Литература

1. International Seismological Centre (2021), On-line Bulletin, <https://doi.org/10.31905/D808B830>
2. Гатинский Ю.Г., Рундквист Д.В., Владова Г.Л., Прохорова Т.В. Блоковая структура и геодинамика континентальной литосферы на границах плит // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2008. № 1. Вып. 11. С. 32–47.
3. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:1 000 000. Издание третье. Дальневосточная серия. Листы: N-51 (Сковородино), N-52 (Зея). СПб.: Картфабрика ВСЕГЕИ. 2009.
4. Сафонов Д.А., Нагорных Т.В., Коваленко Н.С. Сейсмичность региона Приамурье и Приморье / ред. канд. физ.-мат. наук А.С. Прытков.– Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 2019.

ОСОБЕННОСТИ ВУЛКАНИЗМА В ТРАНСПРЕССИОННЫХ СОСЛАДЧАТЫХ ВУЛКАНОТЕКТОНИЧЕСКИХ СТРУКТУРАХ (НА ПРИМЕРЕ КОМСОМОЛЬСКОГО РУДНОГО РАЙОНА)

А.Н. Митрохин, В.П. Уткин, П.Л. Неволин, *stakhor@yandex.ru*

Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, г. Владивосток

При рассмотрении геодинамики формирования вулканотектонических структур (ВТС) в зонах сдвиговых дислокаций исследователи в своих построениях исходят обычно из модели простого сдвига, связывая при этом возникновение и развитие ВТС главным образом со сколовыми и раздвиговыми (деструктивными) формами сдвига в области сосдвигового растяжения или, иначе, пулл-апартах. Такой акцент явно недоучитывает степень влияния на характер синсдвигового вулканизма еще одного тектонического фактора – синсдвигового (транспрессионного) горизонтального сокращения коры, проявляющегося под действием инициирующего сжатия в виде линейной системы косо ориентированных и более ранних по отношению к сдвигам складчатых или подобных им син- и антиформ. А между тем свидетельств влияния данного фактора на синсдвиговой магматизм вообще и вулканизм в частности накапливается все больше и больше [3, 7, 11, 12 и др.]. Примером тому служит и Комсомольский рудный район (КРР).

Район расположен на западной окраине северной части Сихотэ-Алинской аккреционно-складчатой системы в зоне сочленения Баджальской и Горинской структурно-формационных зон (террейнов). КРР сформировался в период меловой (апт–кампан) тектономагматической активизации. Верхи его разреза слагают апт–кампанские эпиконтинентальные вулканогенные и вулканогенно-осадочные породы кислого (холдаминская свита) и среднего (амутская свита) состава, подстилаемые континентальной молассой. Эти породы перекрывают с резким угловым и азимутальным несогласием верхнетриасово–валанжинское кремнисто-терригенное основание. Чехол и основание последовательно прорваны апт–кампанскими интрузиями пурильского → силинского → чалбинского комплексов мяочанской серии (рис. 1). Стратифицированные и интрузивные образования пересекаются линейными или (редко) трубообразными телами кварц-турмалиновых метасоматитов, к которым приурочено большинство оловянных месторождений и проявлений КРР [1, 4–5 и др.]. Магматизм и рудоотложение протекали на фоне левосторонней активизации ССВ разломов Комсомольской сдвиговой зоны (КСЗ) под действием ССЗ (340–350°) горизонтального сжатия.

Вулканогенно-осадочная толща КРР слагает эпиконтинентальные бассейны и представлена в своей нижней части ритмично переслаивающимися осадочными (типа континентальной молассы) породами с риолитовыми и (выше) риодацитовыми пирокластами (холдаминская свита, $K_{1apt}-K_{2tur}$). Верхняя ее часть представлена андезитовыми, андезибазальтовыми и порфирировыми пирокластами и лавами (амутская свита, $K_{2tur}-con$). Причем в этих свитах снизу вверх при общем увеличении мощности разреза четко наблюдается плавное нарастание доли вулканогенного материала от чисто обломочных пород к пирокластам и затем к лавам с синхронной заменой продуктов кислого вулканизма на продукты среднего и основного [4–5, 12 и др.]. Наиболее ранние риолитовые вулканы комагматичны пурильским каликатовым гранитоидам. Лежащие выше риодацитовые вулканы либо считаются комагматичными чалбинским гранитоидам, либо выделяются в самостоятельную фазу вулканизма. Самые поздние амутские андезиты и андезибазальты единодушно рассматриваются как комагматичные силинским монзонитоидам [1, 4–5 и др.].

Имеющиеся данные показывают, что эти эпиконтинентальные бассейны, приуроченные к пологим (с наклоном бортов до 20–25°) повторным прогибам доаптского консолидированного

терригенного основания, формировались в условиях синсдвигового орогенеза, который происходил одновременно со становлением рудно-магматического комплекса КРР. Течение этих процессов было обусловлено развитием КСЗ [6, 9, 12 и др.], входящей в состав системы ССВ левых сдвигов Сихотэ-Алиня, чья продолжавшаяся в апте-кампане активизация определяла характер тектогенеза региона в целом и, как следствие, особенности миграции и локализации рудно-магматического вещества [8–9 и др.].

Действительно, наиболее крупные апт-кампанские прогибы КРР (самые известные из них – Западный с Амутской мульдой и Восточный) и сопряженные с ними поднятия (Центральное, Чалбинское и др.) имеют выдержанное СВ (40–55°) простирание (рис. 1). Для них характерны чередование и четко выраженная линейность (со слабой ундуляцией субгоризонтальных шарниров в местах проявления поперечных СЗ прогибов), а также закономерно косая (часто под углами, близкими к 45°) ориентация к системе проявленных в основании ССВ (0–25°) левых сдвигов КСЗ. Перечисленные особенности свидетельствуют, что зарождение прогибов и поднятий в апте происходило в условиях простого сдвига при явном наследовании не только генерального СВ простирания, но и стиля доаптской складчатости основания вулканитов, происходившей также в условиях сдвигового геодинамического режима.

О том, что апт-кампанский орогенез наследовал стиль предшествующих деформаций, свидетельствует анализ структуры вулканогенно-осадочных пород, компенсирующих прогибы [2, 6, 12 и др.]. Здесь пликативные деформации проявлены в виде линейных преимущественно СВ (40–55°) складок продольного изгиба в сочетании со взбросами (по типу веерного кливажа и кливажа осевой поверхности) и межслоевыми надвигами. Весь этот комплекс структур отвечает тем самым условиям СЗ (310–325°) горизонтального сжатия. Последнее подчеркивается также наложением на СВ складки поперечных СЗ складок сбросового генезиса. Причем указанные деформации, развитые над ССВ левыми сдвигами основания, связаны с ними парагенетически и отражают, как и эшелонированные рудоконтролирующие структуры растяжения, их эмбриональные формы развития [6, 9 и др.]. Совокупность пликативных и наложенных на них деструктивных дислокаций, проявленных в вулканогенно-осадочном чехле, по аналогии с другими изученными в этом отношении районами Сихотэ-Алиня [8–9 и др.] характеризует структуру фронта миграции сдвигов от нижних уровней коры к верхним, происходившей в условиях ССЗ (340–350°) горизонтального сжатия. Свидетельством этому служит также систематическое проявление в бассейнах ВСВ (60–80°) складок, субнормальных такому сжатию, и присдвиговых ЗСЗ (280–290°) складок инерционного типа [12 и др.].

Антиклинали и синклинали, прослеживающиеся на всю мощность меловой вулканогенно-осадочной толщи, конформны расположенным под ними выступам и прогибам основания, являясь прямым их продолжением. Это еще раз, наряду с анализом данных о возрасте рудно-магматических образований [6] и строении вулканогенно-осадочной толщи [12 и др.], подчеркивает, что миграция по вертикали ССВ левых сдвигов КСЗ в апте-кампане, равно как и складкообразование, связанное с ней, носили конседиментационный характер, продвигаясь вверх по мере наращивания вулканогенно-осадочной толщи (так это происходило и в Сихотэ-Алине начиная с раннего мела [8–9 и др.]).

В подошве бассейнов конформные складкам выступы и прогибы консолидированного основания сопровождаются взбросовыми и отчасти сбросовыми деформациями, организованными, соответственно, по типу продольного и поперечного соскладчатого кливажа. Взбросовые деформации развиты на бортах СВ и ВСВ структур с образованием вееров, сходящихся под выступами и над прогибами. Эти веера прослеживаются как на глубину с нарастанием интенсивности деформаций, так и в покровную вулканогенно-осадочную толщу, переходя в кливаж, ассоциирующий с самими складками. Причем переход этот достаточно контрастный из-за того, что веера рассекаются зонами соскладчатых (субпараллельных слоистости и подошве чехла) надвигов. Встречные ВСВ–СВ надвиги, как и в позднемеловом вулканогенном чехле Сихотэ-Алиня [8], зачастую подменяют складчатый тип сосдвигового горизонтального сокращения горизонтально лежащих вулканогенно-осадочных толщ.

Поперечные деформации основания в виде зон СЗ сбросов и их аналоги внутри бассейнов наложены на продольные.

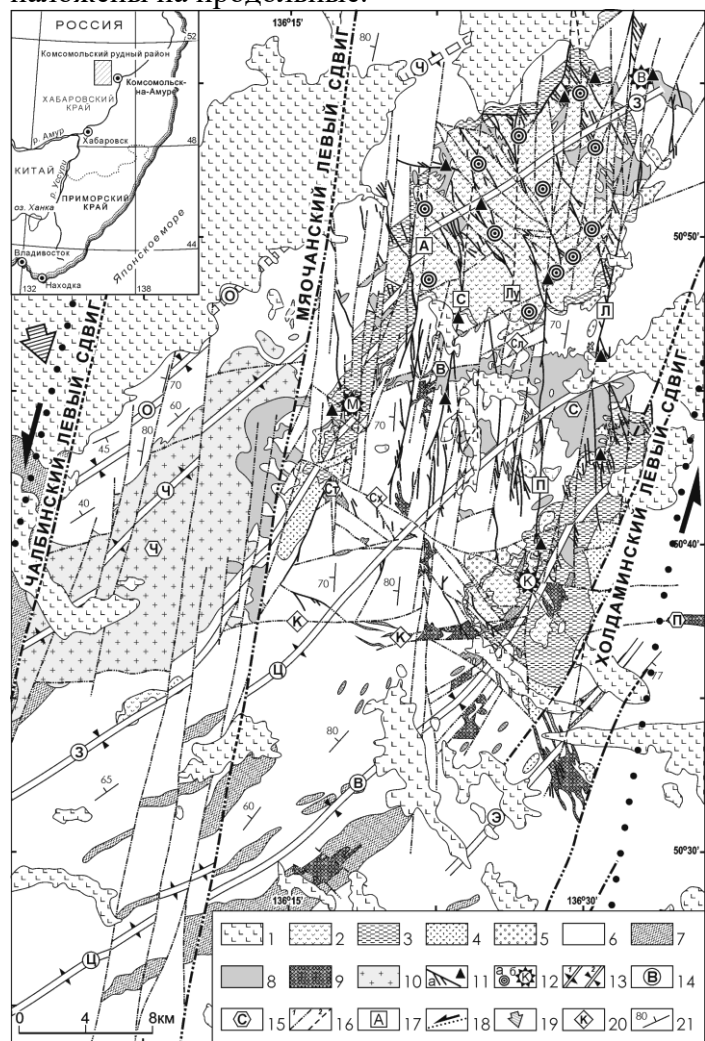


Рис. 1. Геолого-структурная схема Комсомольского рудного района с элементами геодинамики (из [12] с изменениями).

1 – базальто-долеритовые покровы с озерно-аллювиальными отложениями (N–Q); 2–5 – породы мелового вулканогенного чехла: 2 – эффузивы среднего состава амутской свиты ($K_2\text{tur}-\text{cp}$), включая экструзивные и жерловые фации, 3 – конгломераты с эффузивами кислого и среднего состава третьей–пятой пачек холдаминской свиты ($K_2\text{cm}-\text{tur}$), 4 – конгломераты с вулканическими породами кислого состава первой–второй пачек холдаминской свиты ($K_1\text{ap}-\text{al}$), 5 – молассовые отложения ($K_1\text{ap}-\text{al}$); 6–7 – породы доаптского консолидированного основания: 6 – терригенные породы (преимущественно флиш) ($J-K_1v$), 7 – кремнистые и кремнисто-терригенные породы (T_3), включая пермско-триасовые аллохтоны с кремнисто-терригенными, карбонатными породами и метабазальтами; 8–10 – меловые интрузивные породы: 8 – монзонитоиды силинского комплекса, 9 – каликатровые гранитоиды пурильского комплекса, 10 – калиевые граниты чалбинского комплекса; 11 – рудоносные зоны кварц-турмалиновых метасоматитов (а), оловянные месторождения (б), 12 – вулканы ($K_{1-2}\text{ap}-\text{cp}$) (а), в т. ч. крупнейшие (б): Мяочанский (М), Курмиджинский (К), Ветвистый (В); 13–14 – оси синсдвиговых ($K_{1-2}\text{ap}-\text{cp}$) синклинальных прогибов (1) и антиклинальных выступов (2) консолидированного основания: Западного (З), Огненского (О), Восточного (В), Чалбинского (Ч), Центрального (Ц) и Элиберданского (Э); 15 – интрузивные массивы: Чалбинский (Ч), Силинский (С), Верхне-Силинский (В), Сектахский (Ст), Пурильский (П); 16 – разломы (1), в том числе прослеживаемые под перекрывающими толщами (2); 17–19 – элементы строения и геодинамики формирования Комсомольской сдвиговой зоны (КСЗ) (по [9] с изменениями): 17 – крупнейшие рудо- и магмоконтролирующие ССВ-СЮ левые сдвиги КСЗ: А – Амутский, С – Солнечный, Лу – Лучистый, П – Перевальный, Л – Левобережный; 18 – границы КСЗ; 19 – направление инициирующего латерального сжатия; 20 – СЗ и ВСВ рудо- и магмоконтролирующие разломы: Сектахский (Сх), Курмиджа-Пурильский (К), Силинский (Сл); 21 – элементы залегания пород в доаптском консолидированном основании.

Почти повсеместное развитие этих деформаций в основании, их строгая упорядоченность, четкая соорганизованность с конседиментационными структурами бассейнов свидетельствуют, что основание деформировалось синхронно с вулканогенно-осадочной толщей путем продольного и отчасти поперечного его кливажирования, происходившего в

условиях простого сдвига. Необходимо отметить, что характер взбросового, взбросо-надвигового кливажирования, отражающего механизм горизонтального сокращения коры при его продольном сжатии, повторяет в миниатюре строение горст-аккреционных систем Амуро-Уссурийского региона, формирование которых происходило в юре – раннем мелу [10 и др.]. Причем данные по составу континентальной молассы в холдаминской свите [2, 4, 12 и др.] показывают, что «растущие» выступы (антиклинали) в апт-кампане сопровождались пенепленизацией и служили источниками сноса обломочного материала, а прогибы (синклинали) – бассейнами седиментации. Следовательно, синсдвиговые деформации основания вулканогенно-осадочной толщи влияли на процессы денудации, транспортировки, аккумуляции обломочного материала и, таким образом, на фациальные особенности отложений холдаминской свиты.

Таким образом, сказанное выше с учетом наблюдаемой приуроченности батолитоподобных (лакколитообразных) интрузивов мяочанской серии к сводам смежных с прогибами поднятий [4, 12 и др.] и общей их конкордантности подошве и слоистости чехла [3 и др.] говорит о том, что апт-кампанское сокращение коры в КРР несет на себе признаки взаимодействия двух процессов: как веерного кливажирования по типу соскладчатых взбросов, так и формирования подобной складчатости в сочетании с надвигами. Такая ситуация по отношению к магматитам КРР предполагает, что вначале происходило нагнетание магматического материала в соскладчатые декомпрессионные камеры в сводах поднятий и под прогибами с его проникновением затем (по мере заполнения камер) во вмещающую толщу по ВСВ–СВ и СЗ разломам и ССВ левым сдвигам КСЗ, его последующим извержением в прогибах (где сосредоточена основная масса вулканов, рис. 1) и далее становлением дайковых и жерловых фаций пород мяочанской серии. Наиболее ярко это видно на примере пород силинского вулканоплутонического комплекса. Мощность входящих в его состав эффузивов амутской свиты (более 2 км) в Западном и Восточном прогибах вполне сопоставима с мощностью Силинского лакколитообразного массива (2.5–3 км), приуроченного к своду смежного Центрального поднятия и вмещающего комагматичные им монцонитоиды.

Литература

1. Гоневчук В.Г. Оловоносные системы Дальнего Востока: магматизм и рудогенез. – Владивосток: Дальнаука, 2002. – 298 с.
2. Дубровский В.Н., Малиновский Е.П., Родионов С.М. Структура и зональность оловорудных месторождений Комсомольского района. – М.: Наука, 1979. – 135 с.
3. Митрохин А.Н., Уткин В.П. Особенности формирования синсдвиговых гранитоидов Комсомольского рудного района (КРР) // Беломорский подвижный пояс и его аналоги: геология, геохронология, геодинамика, минерагения: Мат. научн. конф. и путеводитель экскурсии. Петрозаводск: Институт геологии КарНЦ РАН, 2005. С. 231–234.
4. Радкевич Е.А., Асманов В.Я., Бакулин Ю.И. и др. Геология, минералогия и геохимия Комсомольского района. – М.: Наука, 1971. – 335 с.
5. Семеняк Б.И., Митрохин А.Н., Сорокин Б.К. и др. Геохимия Комсомольского рудного района: терригенные и магматические породы // Рудные месторождения континентальных окраин. – Владивосток: Дальнаука, 2000. С. 181–201.
6. Сорокин Б.К., Митрохин А.Н., Касаткин С.А. Сравнительный анализ дислокаций апт–кампанского вулканогенного и доаптского терригенного комплексов Комсомольского района (на примере Фестивального месторождения) // Тихоокеанская геология. 1995. Т. 14, № 5. С.46–56.
7. Уткин В.П. Разрывные нарушения и складчатые сооружения Восточного Приморья // Известия АН СССР. Серия геологическая. № 3. 1977. С.101–112.
8. Уткин В.П. Сдвиговые дислокации и методика их изучения. – М.: Наука. 1980. – 144 с.
9. Уткин В.П. Сдвиговые дислокации, магматизм и рудообразование. – М.: Наука, 1989. – 165 с.
10. Уткин В.П. Горст-аккреционные системы, рифто-грабены и вулканоплутонические пояса юга Дальнего Востока России. Статья 1. Горст-аккреционные системы и рифто-грабены // Тихоокеанская геология. 1996. Т. 15, № 6. С.44–72.
11. Уткин В.П. Роль сдвигов океанической коры литосферы в формировании вулканических поясов Тихого океана // Доклады Академии наук. 2006. Т. 408, № 5. 650–655.
12. Mitrokhin A.N. Cretaceous volcanogenic sedimentary basins and folding in the Komsomolsky tin-ore region, Khabarovsk Territory, Russia // Geoscience Journal. 1998. V. 2, № 3. P. 124–133.

РЕЗУЛЬТАТЫ U-Th-Pb ГЕОХРОНОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПОРФИРОБЛАСТИЧЕСКИХ БИОТИТОВЫХ ГРАНИТОВ КЕРАГАНСКОГО ПЛУТОНА СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ БУРЕЙНСКОГО КОНТИНЕНТАЛЬНОГО МАССИВА

Р.О. Овчинников¹, А.А. Сорокин¹, ovchinnikov@ignm.ru

¹Институт геологии и природопользования ДВО РАН, г Благовещенск

Установление хронологии проявления магматизма в истории эволюции и формирования континентальных массивов Центрально-Азиатского складчатого пояса (ЦАСП) относится к числу приоритетных задач, от решения которых напрямую зависит разработка интегрированной модели формирования этого крупнейшего подвижного пояса Земли. При этом особое значение имеет реконструкция магматических событий приуроченных к раннему, позднему палеозою и раннему мезозою.

Буреинский континентальный массив является одним из наиболее крупных континентальных массивов восточной части ЦАСП. Считается, что Буреинский, Цзямусинский и Ханкайский континентальные массивы являются составными частями Бурея-Цзямусинского супертеррейна [4]. Большую часть Буреинского массива занимают выходы ранне-, и позднепалеозойских, а также раннемезозойских гранитоидов [3; 5]. При этом, критерии отнесения гранитоидов к тому или иному комплексу, а также вопросы их возраста остаются предметом дискуссий. Основная причина сложившейся ситуации – недостаточное количество современных геохронологических, геохимических и изотопно-геохимических данных. В данной публикации представлены результаты геохронологических исследований гранитоидов Кераганского плутона, относимого к кивилийскому комплексу [2], в северо-западной части Буреинского континентального массива.

Кераганский плутон расположен в верховье реки Кераган. Протяженность массива около 17 км при ширине 10 км. Плутон сложен средне- и крупнозернистыми порфировластическими биотитовыми гранитами. Породы плутона прорывают условно раннепротерозойские метаматматические породы Безымянного плутона, и прорываются условно позднепалеозойскими гранитоидами Керского плутона.

Для U-Th-Pb геохронологических исследований использован образец R-129 порфировластического биотитового гранита Кераганского плутона, отобранный из его центральной части. Выделение циркона для U-Th-Pb геохронологических исследований (LA-ICP-MS) выполнено в минералогической лаборатории Института геологии и природопользования ДВО РАН с помощью тяжелых жидкостей.

U-Th-Pb геохронологические исследования индивидуальных цирконов выполнены в Геохронологическом Центре Аризонского Университета (Arizona LaserChron Center, USA) с использованием системы лазерной абляции Photon Machines Analyte G2 и ICP масс-спектрометра Thermo Element 2. Детальное описание аналитических процедур приведено на сайте лаборатории (www.laserchron.org). Конкордантные возрасты (Concordia Ages) рассчитаны в программе Isoplot (version 3.6) [6].

Тридцать зерен циркона из порфировластического биотитового гранита Кераганского плутона (обр. R-129) было использовано для проведения U-Th-Pb геохронологических исследований. Полученные оценки возраста по отношению $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ для двадцати пяти цирконов находятся в интервале от 260 до 238 млн лет (рис. 1а) со средневзвешенным значением 246 ± 2 млн лет (СКВО= 1.7, вероятность= 0.020). Пятнадцать анализов было исключено из окончательных расчетов ввиду значительной дискордантности. Средневзвешенное значение возраста для оставшихся десяти анализов составляет 243 ± 3 млн лет (СКВО= 1.20, вероятность= 0.280). Идентичное значение возраста было получено при расчете с использованием пакета TuffZirc $243 \pm 7/-4$ млн лет (рис. 1б). Принимая во внимание

морфологические особенности циркона, а также величину U/Th отношения (1.1–4.1) в них, мы интерпретируем полученный возраст как возраст кристаллизации порфиробластических биотитовых гранитов Кераганского плутона. Необходимо отметить, что для пяти зерен циркона были получены аномально древние оценки возраста - 570, 564, 530, 373 и 289 млн лет. Данные зерна являются ксеногенными.

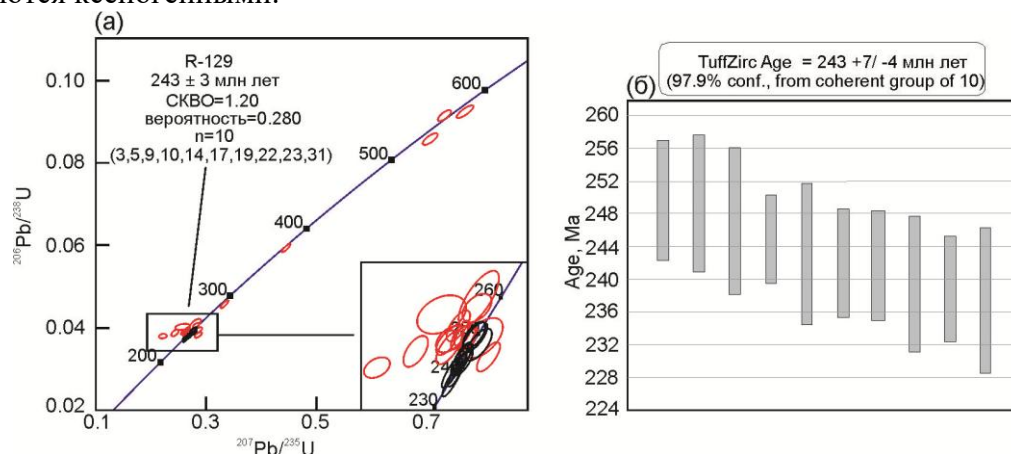


Рисунок 1 – Диаграмма с конкордией (а) и диаграмма TuffZircAge (б) для цирконов из порфиробластического биотитового гранита Кераганского плутона (обр. R-129) Буреинского континентального массива

Результаты геохронологических исследований свидетельствуют о том, что порфиробластические биотитовые граниты Кераганского плутона северо-западной части Буреинского континентального массива имеют среднетриасовый возраст, а не раннепалеозойский возраст, как традиционно считалось ранее [1; 2].

Раннемезозойские интрузивные породы широко распространены в пределах континентальных массивов восточной части ЦАСП [8; 9]. Считается, что геодинамические условия их формирования контролируются посторогенными условиями, вызванными закрытием Палеоазиатского океана, субдукцией и последующим закрытием Монголо-Охотского океана, а также субдукцией океанической плиты Палеопацифики. Принимая во внимание близкое расположение Кераганского плутона к Монголо-Охотскому складчатому поясу, окончательное закрытие которого приходится на рубеж ранней и средней Юры [7], мы можем предполагать, что образование порфиробластических биотитовых гранитов Кераганского плутона может быть связано с одним из этапов субдукции Монголо-Охотского океана.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-77-00001.

Литература

1. Государственная геологическая карта СССР. Масштаб 1:200000. Хингано-Буреинская серия. Лист М-52-V. / Под ред. В.К. Путинцева. Л.: ВСЕГЕИ, 1981.
2. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1000000. Серия Дальневосточная. Лист М-52. Третье поколение / Под ред. А.С. Вольского. С-Пб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2006.
3. Мартынюк М.В., Рямов С.А., Кондратьева В.А. Объяснительная записка к схеме корреляции магматических комплексов Хабаровского края и Амурской области.- Хабаровск: ПГО "Дальгеология", 1990. - 215 с.
4. Парфенов Л.М., Берзин Н.А., Ханчук А.И. и др. Модель формирования орогенных поясов Центральной и Северо-Восточной Азии // Тихоокеанская геология. 2003. Т. 22. №6. С. 7-41
5. Ханчук А.И. Геодинамика, магматизм и металлогения востока России. – Владивосток: Дальнаука, 2006. – 572 с.
6. Ludwig K.R. Isoplot 3.6. // Berkeley Geochronology Center Special Publication. 2008. №4. Р. 1-77.
7. Sorokin A.A., Zaika V.A., Kovach V.P., Kotov A.B., Xu W. Timing of closure of the eastern Mongol–Okhotsk Ocean: constraints from U–Pb and Hf isotopic data of detrital zircons from metasediments along the Dzhabdy Transect // Gondwana Res. – 2020. – 81. – Р. 58-78.
8. Wu, F.Y., Zhang, Y.B., Sun, D.Y., Ge, W.C., Grant, M.L., Wilde, S.A., Jahn, B.M., 2011. Geochronology of the Phanerozoic granitoids in northeastern China. Journal of Asian Earth Sciences 41, 1–30.
9. Zhou, J.B., Wilde, S.A., 2013. The crustal accretion history and tectonic evolution of the NE China segment of the Central Asian Orogenic Belt. Gondwana Research 23, 1356–1377.

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПОЗДНЕКАМЕННОУГОЛЬНЫХ РИОЛИТОВ ПРИАМУРСКОГО ФРАГМЕНТА НОРА-СУХОТИНСКОГО ТЕРРЕЙНА

Смирнов Ю.В., smirnov@ignm.ru

Институт геологии и природопользования ДВО РАН, г. Благовещенск

Южно-Монгольско–Хинганский орогенный пояс (ЮМХОП) протягивается от Рудного Алтая и смежных районов Китая в Южную Монголию и далее на северо-восток Китая, в приграничные районы Приамурья, где “теряется”, пережимаясь Аргунским и Бурей-Цзямусинским континентальными массивами. Северо-восточный фланг ЮМХОП в российской литературе рассматривается в качестве Нора-Сухотинского террейна [1]. Наименее исследованными и одними из ключевых объектов в структуре ЮМХОП являются осадочные и магматические комплексы, представленные в долине реки Амур, которая является границей его китайского и российского сегментов. Проведение комплексных, в том числе современных изотопно-геохимических и геохронологических, исследований позволит внести существенный вклад в создании интегрированной геодинамической модели формирования пояса.

В данной публикации приведены результаты исследований петрографического и геохимического состава риолитов, отобранных в бассейне р. Богданиха левого притока р. Амур Нора-Сухотинского террейна. Эти образования совместно с осадочными породами на геологической карте масштаба 1:1000000 рассматриваются в составе нижне-среднекаменноугольной богданихинской свиты [2]. Возраст осадочных пород, входящих в состав свиты принят серпухов–башкирский на основании находок органических остатков *Asterocalamites chaetophylloides* Radez., *Angaropteridium askyzense* (Zal.) Radez., *Rhodea* sp., *Rhacopteris* sp., *Dictioxylon*(?), *Angarocarpus ananievii* Such., обнаруженных в аргиллитах в бассейне р. Богданиха [2]. В то же время, возраст риолитов, согласно U-Pb геохронологическим данным, позднекаменноугольный 301 ± 4 млн лет [3].

Риолиты, отобранные в бассейне р. Богданиха, светло-серого цвета с массивной текстурой и порфировой структурой. Вкрапленники представлены кварцем, санидином и плагиоклазом. Реже в риолитах наблюдаются чешуйки биотита и мусковита. Единичны включения роговой обманки. Основная масса в риолитах тонкозернистая и состоит из кварца, полевых шпатов и чешуек серицита. Акцессорные минералы представлены цирконом, апатитом и магнетитом.

Риолиты характеризуются повышенными содержаниями SiO_2 (75.51–78.91 мас. %) и K_2O (3.78–5.18 мас. %). Для них типично преобладание K_2O над Na_2O (1.01–1.34) при сумме щелочей ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) от 6.72 до 9.47 мас. %. Согласно классификации [4] они относятся к высококалиевым риолитам. На диаграмме $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{CaO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}) - \text{Al}_2\text{O}_3/(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ [5] фигуративные точки состава риолитов лежат компактно в поле высокоглиноземистых пород.

Для риолитов характерны значительные вариации суммы редкоземельных элементов ($\Sigma\text{REE} = 64\text{--}240$ г/т), слабо и умеренно дифференцированные спектры распределения лантаноидов ($[\text{La}/\text{Yb}]_n = 3.50\text{--}13.43$) при отчетливо выраженной отрицательной европиевой аномалии ($\text{Eu}/\text{Eu}^* = 0.19\text{--}0.26$). Графики нормированных к примитивной мантии отражают обеднение риолитов в отношении Ba (125–286 г/т), Sr (14–73 г/т), Ti (600–899 г/т) на фоне обогащения Rb (112–147 г/т), Zr (118–219 г/т), Nb (15–25 г/т) и Ta (1.3–2.1 г/т).

Особенности микроэлементного состава риолитов позволяют отнести их к риолитам А-типа. Данный вывод подтверждается положением фигуративных точек состава исследуемых пород на диаграммах $\text{SiO}_2 - (\text{FeO}^*/(\text{FeO}^* + \text{MgO}))$, $(\text{CaO} + \text{Al}_2\text{O}_3) - (\text{CaO}/(\text{FeO}^* + \text{MgO} + \text{TiO}_2))$, $\text{Al}_2\text{O}_3 - (\text{CaO}/(\text{FeO}^* + \text{MgO} + \text{TiO}_2))$ [6]. В свою очередь, на дискриминационной диаграмме $(\text{CaO} + \text{MgO}) \cdot 5 - (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}) - (\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 5)$ [7] точки состава риолитов локализируются в поле

гранитов А₂-типа. Гранитоиды данного типа формируются в пост- или позднеколлизийной обстановке [6, 7 и др.].

С учетом полученных в рамках исследований данных и существующей модели формирования ЮМХОП, согласно которой финальный этап его развития приходится на раннюю пермь, что маркируется, во-первых, значительным количеством раннепермских гранитоидов и риолитов А-типа, выявленных на территории Китая в пределах ЮМХОП и блока Синъян (Xing'an) [8–11 и др.], во-вторых, присутствием терригенных отложений раннепермского возраста с континентальной флорой в пределах Приамурского фрагмента Нора-Сухотинского террейна [2], наиболее вероятно, что рассматриваемые риолиты А-типа бассейна р. Богданиха, характеризующиеся возрастом 301 ± 4 млн лет, отражают постколлизийный этап развития Нора-Сухотинского террейна.

Исследования выполнены за счет гранта Российского научного фонда № 21-77-10001, <https://rscf.ru/project/21-77-10001/>.

Литература

1. Ханчук А.И. Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России: в 2 кн. – Владивосток: Дальнаука, 2006. Кн. 1. – 572 с.
2. Петрук Н.Н., Волкова Ю.Р. Государственная геологическая карта Российской Федерации. 1:1000000. Лист М-52 (Благовещенск). Третье поколение. Дальневосточная серия / Ред. А.С. Вольский. – СПб.: ВСЕГЕИ, 2012.
3. Смирнов Ю.В., Хубанов В.Б. Результаты U-Pb (LA-ICP-MS) геохронологических исследований позднекаменноугольных риолитов Приамурского фрагмента Нора-Сухотинского террейна // Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса: от океана к континенту: материалы XX юбилейного научного совещания, 18–21 октября 2022 г., Иркутск: [сб. докл.]. Иркутск: ИЗК СО РАН, 2022 (в печати).
4. Le Maitre R.W., Streckeisen A., Zanettin B. et al. Igneous rocks. A Classification and Glossary of Terms // Recommendation of the International Union of Geological Science Subcommittee on the systematics of igneous rocks. Cambridge University Press., 2002. – 254 p.
5. Maniar P.D., Piccoli P.M. Tectonic discrimination of granitoids // Geological Society of America Bulletin. 1989. V. 101. P. 635–643.
6. Frost B.R., Barnes C.G., Collins W.J. et al. A geochemical classification of granitic rocks // Journal of Petrology. 2001. V. 42. Is. 11. P. 2033–2048.
7. Гребенников А.В. Гранитоиды А-типа: проблемы диагностики, формирования и систематики // Геология и геофизика. 2014. Т. 55. № 9. С. 1356–1373.
8. Li Y., Xu W.L., Wang F., Tang J. et al. Geochronology and geochemistry of late Paleozoic volcanic rocks on the western margin of the Songnen–Zhangguangcai Range Massif, NE China: Implications for the amalgamation history of the Xing'an and Songnen–Zhangguangcai Range massifs // Lithos. 2014. V. 205. P. 394–410.
9. Ji Z., Ge W.C., Yang H. et al. Late Carboniferous–Early Permian high- and low-Sr/Y granitoids of the Xing'an Block, northeastern China: Implications for the late Paleozoic tectonic evolution of the eastern Central Asian Orogenic Belt // Lithos. 2018. V. 322. P. 179–196.
10. Wu F.Y., Sun D.Y., Li H.M. et al. A-type granites in northeastern China: age and geochemical constraints on their petrogenesis // Chemical Geology. 2002. V. 187. P. 143–173.
11. Wu F.Y., Sun D.Y., Ge W.Y. et al. Geochronology of the Phanerozoic granitoids in northeastern China // Journal of Asian Earth Sciences. 2011. V. 41. P. 1–30.

ИЗОТОПНО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ (Sm-Nd) ОСОБЕННОСТИ ТЕРРИГЕННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ЕРНИЧЕНСКОЙ ТОЛЩИ АРГУНСКОЙ СЕРИИ АРГУНСКОГО КОНТИНЕНТАЛЬНОГО МАССИВА

*Смирнова Ю.Н., *smirnova@ascnet.ru*, **Дриль С.И., *sdril@igc.irk.ru*

*Институт геологии и природопользования ДВО РАН, г. Благовещенск

**Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН, г. Иркутск

Аргунский континентальный массив является одним из крупных массивов, расположенных в восточной части Центрально-Азиатского складчатого пояса. В строении массива, наряду с магматическими и метаморфическими образованиями, весомую роль играют осадочные комплексы. Последние несут в себе потенциально значимую информацию как о геодинамических обстановках, существовавших в период их накопления, так и о возрасте и составе коры областей сноса кластического материала. В данной публикации представлены первые результаты изотопно-геохимических (Sm-Nd) исследований терригенных отложений ерниченской толщи нижнепалеозойской аргунской серии, направленные на реконструкцию основных источников сноса исходного материала.

В составе ерниченской толщи выделяются песчаники, алевролиты, аргиллиты с горизонтами гравелитов, кварцитов с линзами и прослоями известняков и доломитов общей мощностью 1000 м. Возраст толщи принят условно ранне-среднекембрийским на основании согласного залегания на отложениях нижнекембрийской быстринской свиты в бассейнах рек Ороча и Камара. Однако в большинстве случаев контакты между ерниченской толщей и быстринской свитой осложнены тектоническими нарушениями. Ископаемые остатки в отложениях ерниченской толщи не выявлены [1].

Образцы пород ерниченской толщи нами были отобраны в бассейне р. Уров на территории Забайкальского края. Изотопно-геохимические (Sm-Nd) исследования проводились в ЦКП Изотопно-геохимических исследований Института геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН (г. Иркутск) на 9-коллекторном масс-спектрометре с индуктивно связанной плазмой MC-ICP-MS Neptune Plus в статическом режиме.

Терригенные отложения ерниченской толщи характеризуются значениями $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd} = 0.1103 - 0.1121$ и $e_{\text{Nd}(0)} = -13.7 \dots -14.5$, а Nd-модельный возраст составляет ~ 1.8 млрд лет (таблица). Согласно этим данным, основными поставщиками кластического материала для терригенных отложений ерниченской толщи послужили палеопротерозойские образования и/или более молодые изверженные породы, исходные расплавы которых сформировались за счет переработки континентальной коры палеопротерозойского возраста.

Таблица. Результаты Sm-Nd изотопно-геохимических исследований терригенных отложений ерниченской толщи аргунской серии Аргунского континентального массива

№ образца	Порода	Nd, мкг/г	Sm, мкг/г	$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$	+/- 2s	$e_{\text{Nd}(0)}$	$e_{\text{Nd}(T)}$	$T_{\text{Nd(DM)}}$, млн лет
Ю-129	Песчаник	45.8	8.1	0.1103	0.51189	8	-14.5	-8.8	1850
Ю-132-1	Алевролит	29.2	6.1	0.1121	0.51194	6	-13.7	-8.1	1820

Близкие значения $e_{\text{Nd}(0)}$ и $T_{\text{Nd(DM)}}$ типичны для метаосадочных пород вендской белётуйской свиты быркинской серии Аргунского континентального массива [2] (рисунок). В то же время для палеозойских осадочных пород Ольдойского террейна, расположенного в северо-восточной части Аргунского массива, ранее были получены более молодые значения Nd-модельного возраста (1.0–1.5 млрд лет) [3]. Эти данные свидетельствуют о присутствии в

области сноса разных по Nd-составу исходных пород для терригенных отложений северо-западной и северо-восточной частей Аргунского массива.

В качестве одного из потенциальных источников сноса кластического материала для терригенных отложений ерниченской толщи можно рассматривать массив Ухусишань (Wuhuxishan) Аргунского массива, сложенный неопротерозойскими гранито-гнейсами, для которых были получены подобные вариации $e_{Nd(0)} = -8.7 \dots -14.0$ и $T_{Nd(DM)} = 1.6 - 1.8$ млрд лет [4].

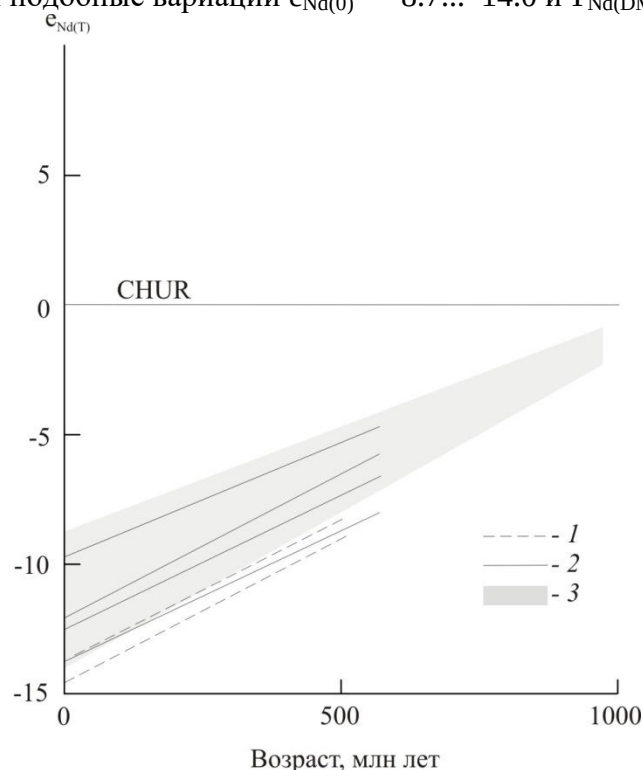


Рисунок. Диаграмма возраст – $e_{Nd(T)}$ для терригенных пород ерниченской толщи аргунской серии Аргунского континентального массива. Условные обозначения: поля изотопного состава Nd для осадочных пород: 1 – ерниченской толщи аргунской серии; 2 – белётуйской свиты быркинской серии; 3 – гранито-гнейсов Ухусишань (Wuhuxishan).

Исследования выполнены при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 20-05-00195).

Литература

1. Шивохин Е.А., Озерский А.Ф., Куриленко А.В., Раитина Н.И., Карасев В.В. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000000. Серия Алдано-Забайкальская. Лист М-50 (Борзя). Третье поколение. Отв. ред. Старченко В.В. – СПб.: ВСЕГЕИ, 2010.
2. Смирнова Ю.Н., Дриль С.И. Геохимия вендских (?) метаосадочных пород быркинской серии Аргунского супертеррейна // Геохимия. 2022. Т. 67. № 5. С. 445–462.
3. Сорокин А.А., Смирнова Ю.Н., Котов А.Б., Ковач В.П., Сальникова Е.Б., Попеко Л.И. Источники и области сноса палеозойских терригенных отложений Ольдойского террейна Центрально-Азиатского складчатого пояса: результаты Sm-Nd изотопно-геохимических и U-Pb геохронологических (LA-ICP-MS) исследований // Геохимия. 2015. № 6. С. 539–550.
4. Liu H., Li Y., Wan Z., Lai Ch.-K. Early Neoproterozoic tectonic evolution of the Erguna Terrane (NE China) and its paleogeographic location in Rodinia supercontinent: Insights from magmatic and sedimentary record // Gondwana Research. 2020. V. 88. P. 185–200.

МИНЕРАЛОГИЯ, ГЕОХИМИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ, ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИХ ФОРМИРОВАНИЯ

УДК 553.411:571.6

ЗОЛОТОРУДНЫЕ И АССОЦИИРОВАННЫЕ СЕМЕЙСТВА ПРИАМУРЬЯ И ПРИХОТЬЯ

В.Г. Крюков, *kryukov-vg@mail.ru*

ХФИЦ, Институт горного дела ДВО РАН

Цель: установить принадлежность рудных объектов к рудному семейству для использования этого свойства в качестве одного из признаков определения перспективности рудопроявлений. Рассматриваются месторождения и рудопроявления двух территорий Приамурья (Нижнее Приамурье, около 670 объектов) и Приохотье, 1308 объектов.

Геологами принято выделять 4 группы рудных объектов: высокоперспективные, перспективные, с неясными перспективами и не перспективные. При этом основаниями являются следующие признаки: 1) параметры оруденения на участках (содержания металла, протяжённость, мощность и размах по вертикали рудных тел и зон минерализации); 2) минеральный состав руд и оклорудных метасоматитов; 3) морфология рудных тел; 4) генетический и промышленный тип месторождения; 5) связь оруденения с интрузивно- и вулcano-купольными структурами; 6) геохимические аномалии и их параметры; 7) геофизические аномалии; 8) связь оруденения с магматизмом и соответствующая проявленность «родственных» интрузивных пород; 9) положение участка в тектонических структурах. Признаки 1-3 считаются прямыми, остальные относятся к разряду косвенных.

Как правило, основное значение придается 1-3, а также 6-9 признакам – по ним представлена максимально полная информация в отчетах и в каталоге М.В. Мартынюка.

Автор руководствуется также прямыми признаками. Вместе с тем очень важное значение придается таким дополнительным признакам как структурно-тектоническая «решетка», состав и зональность метасоматитов, выделяемых на основании фациально-формационного анализа, рудные семейства, проявленность генетических рядов рудных и безрудных метасоматитов, признаки завершенности гидротермальных процессов, общая металлогеническая специализация территории. Следующую полочку по значимости занимают 4-9 признаки. Безусловно, как и для других исследователей, сказывается опыт изучения рудных месторождений разных металлов в различных геоструктурных обстановках. В литературе по рудным объектам юга Дальнего Востока практически не освещены рудные семейства.

В качестве существенного признака определения перспективности рудных объектов (рудные поля, месторождения и рудопроявления) отмечается принадлежность к определенному рудному (минерагеническому) семейству. Выделение семейств базируется на данных геологических отчетов, каталога, составленного М.В. Мартынюком, а также собственных наблюдений автора по 50 месторождениям и рудопроявлениям золота (14), олова (28), цветных (4), черных (2) и редких (2) металлов Приамурья и Приохотья.

По преобладающим металлам (элементам) месторождения и рудопроявления Приамурья относятся к 15 семействам:

- золоторудные (моно- и биеlementные с серебром, либо с медью, либо с висмутом, либо со свинцом – 322, комплексные с полиметаллами, медью, оловом, вольфрамом – 112), всего 434;

- серебряные комплексные с полиметаллами – 2;

- меднорудные (моно- и биеlementные с серебром или с золотом, либо с сурьмой, либо с висмутом, либо со свинцом – 7, медно-молибденовые – 47), всего 54;

- молибденовые биэлементные либо с золотом, либо с вольфрамом, либо с висмутом, либо со свинцом, всего 13;
- оловянные (биэлементные либо с золотом, либо с медью, либо с висмутом, либо со свинцом – 23, комплексные с полиметаллами – 10, комплексные с вольфрамом – 10), всего 43;
- вольфрамовые (биэлементные либо с золотом, либо с оловом, либо с висмутом, либо с медью, либо со свинцом – 9, комплексные – 18), всего 27;
- редкометалльные, преимущественно бериллиевые и литиевые – 5;
- полиметаллические (свинец и цинк либо с золотом или серебром, либо с висмутом, либо с медью – 3, комплексные с цветными и редкими металлами – 10), всего 13;
- колчеданные с золотом, – 1;
- висмут-мышьяковые – 4;
- кобальт-никелевые (никель) – 1;
- железо-марганцевые (железо – 3, марганец – 4), всего 7;
- ртутно-сурьмяные (ртуть – 34, сурьма – 10), всего 44;
- вторичнокварцитовые, преимущественно алунитовой фации – 22;
- камнесамоцветного сырья – 3;

Месторождения и рудопроявления Приохотья относятся к 17 семействам:

- золоторудные (моно- и биэлементные либо с серебром, либо с медью, либо с висмутом, либо со свинцом – 424, комплексные с полиметаллами, медью – 96, комплексные с оловом, вольфрамом – 26), всего 546;
- серебряные (моно- и биэлементные либо с золотом, либо с медью, либо с висмутом, либо со свинцом – 108, комплексные с полиметаллами – 23, комплексные с оловом – 20), всего 150;
- меднорудные (моно- и биэлементные либо с серебром или с золотом, либо с сурьмой, либо с висмутом, либо со свинцом – 65, комплексные – 32, медно-молибденовые – 50), всего 146;
- молибденовые (моно- и биэлементные либо с золотом, либо с вольфрамом, либо с висмутом, либо со свинцом – 84, комплексные – 5), всего 89;
- оловянные (биэлементные либо с золотом, либо с медью, либо с висмутом, либо со свинцом – 43, комплексные с полиметаллами – 58, комплексные с вольфрамом – 14), всего 114;
- вольфрамовые (моно- и биэлементные либо с золотом, либо с оловом, либо с висмутом, либо с медью, либо со свинцом – 25, комплексные – 13), всего 38;
- редкометалльные, преимущественно циркониевые и литиевые – 25;
- редкоземельные – 10;
- радиоактивного сырья (урановые) – 2;
- полиметаллические (свинец и цинк либо с золотом или серебром, либо с вольфрамом, либо с висмутом, либо с медью – 53, комплексные с оловом – 20, комплексные с цветными и редкими металлами – 61), всего 134;
- висмут-мышьяковые (висмут – 11, мышьяк – 9), всего 20;
- кобальт-никелевые (никель) – 1;
- фосфор-железо-титановые – 2;
- железо-марганцевые (железо – 2, марганец – 1), всего 3;
- ртутно-сурьмяные (сурьма) – 6;
- вторичнокварцитовые, преимущественно алунитовой фации – 6;
- камнесамоцветного сырья (хрусталь и морион – 5, халцедон и опал – 11), всего 16;

В целом наборы семейств этих территорий близки, исключая специфичные фосфор-железо-титановые месторождения в габбро-анортозитовом комплексе, а также редкоземельные месторождения, свойственные Приохотью. Определенное сходство свойственно и околорудным метасоматитам. Тем не менее, отмечаются существенные различия в составе семейств:

- профиль месторождений Приамурья – золото-медь-алюминий-вольфрам-полиметаллический, причем на долю золота приходится около 72% объектов, на долю меди – 9%, алюминия – около 4%. Профиль месторождений Приохотья – золото-серебро-медь-

полиметаллы-олово-редкометалльный, причем на долю золота приходится – 42%, серебра – 11.5%, меди – 11%;

- более сложный состав руд в объектах Приохотья. Преобладают комплексные месторождения золота, серебра, меди и олова;

- постепенные переходы в семействах от золоторудных к полиметаллическим или медно-молибденовым, или к олово-вольфрамовым присущи месторождениям и рудопроявлениям Приохотья. В месторождениях золота Приамурья высокотемпературные минералы встречаются как примесь, исключая Зимовьинский рудный узел (участки Пестрое и Цокольное) [1];

- значимость серебра высока в месторождениях Приохотья, как например, руды месторождения Хаканджа содержат в среднем серебра 307 г/т (максимум 2.6 кг/т) и запасы категории С₁ 2382 тонны. Выявлены довольно многочисленные серебряные объекты. В золото-серебряных проявлениях Приамурья содержания серебра колеблются от 5-15 г/т до 150 г/т, с преобладанием умеренных его содержаний.

Золоторудные месторождения группируются в 4 семейства. Первое представлено моноэлементными рудами, второе – биэлементными, третье – полиэлементными с преобладанием низкотемпературных сопутствующих компонентов, четвертое – полиэлементными рудами с преобладающей ролью высокотемпературных сопутствующих компонентов.

Простые по составу проявления первого семейства, золото в кварце, довольно многочисленны, но малоперспективны. Они приурочиваются к ареалам развития интрузивных пород гранит-щелочногранитовой ассоциации палеозойского и мезозойского возрастов. Вмещающими породами являются терригенные и магматические образования. Характерен жильный тип руд. Относительно других семейств редки сульфиды. Пробность золота, как правило, высокая, 870-900 и выше.

В проявлениях второго семейства отмечаются сульфиды и сульфосоли, но их роль крайне невелика, до 1.5-2.0%. К числу наиболее многочисленных относятся золото-серебряные объекты с ведущей ассоциацией золота и серебра в кварцевой матрице. По запасам они довольно часто соответствуют категории средних и крупных месторождений, Примерами могут быть Белая Гора, Делькен, Дяппе, Красивое, Светлое, Юрьевское и другие. Биэлементные проявления, в которых золото ассоциирует с медью, или с висмутом, или со свинцом, или с другими металлами пользуются ограниченным распространением. По всей вероятности, для них не характерны сколь-либо значимые скопления золота.

Месторождения второго семейства, в основном, пространственно приурочиваются к полям развития интрузивных пород габбро-диорит-гранодиоритовой и гранит-щелочногранитовой ассоциаций с завершающим флюидолитовым комплексом. Возраст интрузивных образований мезозойский, мезозой-кайнозойский. Вмещающие породы представлены осадочными, метаморфическими и магматическими образованиями. В процессе рудоотложения они преобразуются в аргиллизиты, нередко с кварц-адуляровой фацией, кварц-серицитовые метасоматиты, хлорититы. Состав руд относительно однообразен: золото умеренной пробности, серебро, сульфиды и сульфосоли железа, меди, свинца, серебра, висмута, реже окислы железа, олова, титана. Золото-серебряное отношение варьирует от 1:1 до 1:10. Пробность золота колеблется в пределах 650-920.

Биэлементные месторождения «переходят» в комплексные золоторудные объекты. Границей является содержание сульфидов, сульфосолей, окислов, превышающих 2%, а также более сложный состав рудных и породообразующих минералов, с появлением разнообразных сульфосолей, карбонатов, флюорита, барита в жильном выполнении.

Комплексные золоторудные объекты подразделяется на 2 семейства: относительно низкотемпературные с полиметаллами, медью, висмутом (№3) и более высокотемпературные с оловом и вольфрамом (№4). Большинство проявлений золота относится к третьему семейству.

Объекты третьего семейства характерны как для Приохотья, так и для Приамурья, где они располагаются на площадях развития интрузивных пород габбро-диорит-гранодиоритовой и гранит-субщелочногранитовой ассоциаций. В составе руд, помимо золота и серебра,

устанавливаются свинец, цинк, мышьяк, молибден, медь, сурьма, висмут, кадмий, платина, платиноиды и другие металлы. Среди околорудных метасоматитов преобладают березиты и хлорититы, а также кварц-серицитовые гидротермалиты, углеродистые метасоматиты. По запасам золота месторождения относятся к категории средних и крупных объектов. В Приохотье отмечаются «переходы» от существенно золоторудных объектов к полиметаллическим с благородными металлами (Ниваджинское), в которых доля сульфидов достигает 10-15% объема руды. Пробность золота составляет 600-870. Золото-серебряное отношение колеблется от 1:10 до 1:100.

Четвертое семейство пользуется умеренной распространенностью. В Приохотье месторождениям этого семейства свойственны «переходы» от существенно золоторудных к оловянным (Сурхо) или вольфрамовым (Дочканах) золотосодержащим месторождениям. Для комплексных месторождений золота свойственны мелкие и средние по масштабам объекты (возможно выявление крупных месторождений). Приурочиваются они к ареалам интрузивных пород габбро-диорит-гранодиоритовой и гранит-субщелочногранитовой ассоциаций и флюидолитов. Среди вмещающих пород чаще всего встречаются осадочные и эффузивные комплексы. Околорудные метасоматиты представлены скарнами, грейзенами, актинолититами, турмалинитами, хлорититами, березитами. Месторождения выделяются наиболее сложным составом руд и относительно повышенными содержаниями сульфидов и сульфосолей. Пробность золота достаточно высокая: 650-950. Золото-серебряное отношение составляет 1:10 – 1:50.

Семейства ассоциированных с золотом металлов довольно многочисленны. Золото присутствует практически во всех типах рудных объектов: сурьмяных, полиметаллических, медных, молибденовых, серебряных, олово-вольфрамовых, вольфрам-редкометалльных. В генетическом и прикладном плане главную роль играют серебряные и порфировые семейства.

Месторождения серебра не изучались столь детально как золоторудные объекты. Тем не менее, в этом семействе простых и полиэлементных по составу объектов вполне вероятны промышленные месторождения в Приохотье. Это семейство имеет наиболее разветвленные связи с другими металлами. Помимо родства с золотом, серебру свойственны ассоциации с оловом, с полиметаллами, с медью и молибденом, с редкими металлами. Соответственно серебро присутствует в попутных и примесных формах в месторождениях отмеченных компонентов: золото – Мукулаkit-2, олово – Хадаранджа, порфировые – Дарпирчан-2, полиметаллы – Ниваджинское, редкие – Мальтан-2.

Семейство порфировых руд, представлено довольно многочисленными объектами. К порфировому типу объектов автором отнесены те проявления, для которых установлены хотя бы 3-4 основных признаков принадлежности (например, штокверковый тип оруденения, сложный состав метасоматитов, порфировость интрузивных пород, проявленность флюидолитов). Такие руды распространены как в Приамурье, так и в Приохотье. В Приохотье прослеживается цепочка проявлений от существенно молибденовых (Левый Атыкан) или медных (Юлия) к комплексным медно-молибденовым (Дарпирчан) и, вероятно, олово- или вольфрам-порфировым (Дочканах). Судя по результатам геологоразведочных работ на месторождениях Малмыжском и Понийском в Нижнем Приамурье, порфировые объекты могут играть весьма существенную роль в общих запасах меди, молибдена, а также драгоценных металлов. Аналогичные объекты Приохотья могут составить конкуренцию Нижнему Приамурью.

Таким образом, многообразие типов руд, концентрация или рассеяния металлов, а также масштабность оруденения определяется в основном геологическими факторами, Часть из них картируема, а часть недоступна современным методам исследования. Тем не менее, существуют реально фиксируемые особенности рудных сообществ, которые позволяют судить о перспективах объектов на ранних стадиях работ без проходки дорогостоящих выработок. В их числе следует отметить состав руд, метасоматитов, морфологические характеристики и др., которые позволяют в частности выделять рудные семейства. Анализ свойств рудных семейств в

совокупности с другими факторами способствует выработке представлений о перспективах конкретных проявлений.

Анализ материалов по 1308 месторождениям и рудопроявлениям Приохотья, по 670 объектам Приамурья свидетельствует о сходстве в развитии рудных (минерагенических) семейств. При этом следует отметить общий золоторудный профиль территорий и, что с золоторудными семействами ассоциируют многочисленные семейства серебра, меди, полиметаллов, олова, вольфрама, редких и других металлов. Золото наблюдается в собственных месторождениях и как попутный компонент или примесь присутствует в рудах всех семейств.

Золоторудные месторождения и рудопроявления Приохотья и Приамурья группируются в четыре семейства. Первое характеризуется моноэлементным составом руд. Второму свойственно проявление в парных парагенезисах металлов. Третье выделяется как комплексные руды с низкотемпературными сообществами минералов. Четвертое обособляется в форме комплексных руд с высокотемпературными сообществами минералов. Средние и крупные по запасам объекты свойственны второму и третьему семействам, мелкие и средние – четвертому. Потенциал первого семейства не оценивается в силу недостаточности геологической информации по этим проявлениям.

Литература

1. Крюков В.Г. Топоминералогия Зимовьинского рудного поля (северный Сихотэ-Алинь)//Вопросы региональной геологии и комплексного освоения природных ресурсов Восточной Азии: Вторая Всерос. науч. конф.: сб. докладов. ISBN 978-5-903015-59-7. Благовещенск: Изд-во ИГиП ДВО РАН, 2012. с.95-98

РЕЗУЛЬТАТЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ЗОЛОТОНОСНЫХ ДЕЛЮВИАЛЬНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ В ДОЛИНЕ РУЧ. ОТПОРНЫЙ (БАССЕЙН Р. АДАМИХА)

И.В. Кузнецова¹, А.И. Дементенко, *kuzia67@mail.ru*

¹ Институт геологии и природопользования ДВО РАН, Благовещенск

Целью приведенных исследований являлось определение содержаний и распределения золота в питающих аллювиальные россыпи делювиальных шлейфах, формирующихся за счет размыва коренных источников.

Технологическая проба, весом 50 кг, отобрана из делювиальных отложений, в левом борту приустьевой части долины руч. Отпорный, прав. притока р. Адамиха (53°2'40.60" с.ш., 129°23'41.79" в.д.). Согласно принятому минерагеническому районированию, объект исследований расположен в пределах западной части Сохатинского медно-серебро-золоторудного узла, сложенной меловыми вулканитами и отличающейся проявлениями молибден-порфировой и золоторудной полиметаллической рудных формаций [1].

Пробоподготовка проводилась по методике разработанной академиком РАН В.Г. Моисеенко [2-4]. Атомно-абсорбционный и минералогический анализ проб и образцов проводился в ФГБУН ИГиП ДВО РАН.

Отобранная проба представлена глинисто-песчано-гравийной смесью с обломками пород и минералов: кварцево-сланцевых сланцев, фельзитов, кварцевых порфиров, туфопесчаников, туфов. Гранулометрический состав по фракциям имеет следующий вид: крупная фракция (+10 мм) – 7%, средняя (-10+3 мм) – 30%, (-3+1) – 22% и мелкая (-1 мм) – 41%.

Так как в пробе присутствует глинистая составляющая, при дальнейшей пробоподготовке использовалось мокрое ситование на фракции (-1+0,5 мм), (-0.5+0.25) и (-0,25), стандартным методом выделялся тяжелый шлик, определялся минеральный состав каждой фракции (приведен в таблице).

Таблица. Минеральный состав фракций (-1+0,5; -0.5+0.25 и -0,25 мм) после пробоподготовки

Минералы	Содержание Au в основных минералах, (ААА)*, г/т	Содержание минералов по фракциям, %		
		(-1+0.5) 38%	(-0.5+0.25) 45%	(-0.25) 17%
Мартит	0.2	72.54	67.77	63.62
Ильменит	0.6	0.87	17.8	2.33
Гематит	0.2	13.61	4.7	7.39
Хромит	0.2	4.58	0.86	-
Эпидот	-	3.93	1.84	3.69
Лимонит	0.2	1.03	1.32	2.05
Гранат	-	0.87	0.9	0.82
Магнетит	0.3	0.36	1.19	5.47
Кварц	0.1	0.18	1.78	0.01
Адуляр (ППШ)	0.31	1.16	1.14	0.73
Циркон	-	0.06	0.26	10.27
Барит	-	0.49	-	-
Рутил	-	0.14	0.17	0.6
Лейкоксен	-	0.03	0.2	2.48
Пирит	-	0.08	0.02	0.04
Галенит	-	0.04	0.05	0.09
Андалузит	-	0.01	-	-
Слюдистые сланцы	-	0.02	-	-
Сфен	-	-	-	0.27
Амфибол	-	-	-	0.14
Самородное золото, зн/мг		7/0.0069	4/0.0008	3/0.0008
Анализ, дистен, силлиманит, ставролит, турмалин, корунд, киноварь, ортит, пироксен, касситерит - минералы встречающиеся в количестве единичных знаков				

Примечание: *приведены данные по минералам, в которых проводилось определение

Содержание золота по фракциям следующее: (+3 мм) – 0,037 г/т; (-3+1 мм) – 0,135 г/т и (-1 мм) – 37 г/т (данные атомно-абсорбционного анализа).

Далее исследовалась только мелкая фракция золота (-1 мм), на долю которой приходится 99,7% металла, содержащегося в пробе.

Установлено перераспределение основных рудных минералов, в том числе и золота по фракциям. С уменьшением фракции уменьшается содержание в шлихе таких минералов, как мартит, хромит, адуляр, барит и увеличивается процент лимонита, магнетита, циркона, рутила, лейкоксена и галенита, сфена и амфибола. Наибольшее содержание ильменита и кварца установлено во фракции (-0,5+0,25); гематита, эпидота и пирита во фракции (-1+0,5 мм). Больше всего видимого самородного золота – 81%, относится к размерности (-1+0,5 мм) и по 9% Au приходится на остальные две фракции. В основных рудных минералах установлено содержание Au (атомно-абсорбционный метод) (см. табл.).

Исходя из полученных данных содержание золота по размерности в пробе следующее: 22,1 % приходится на долю видимого самородного золота размером (+0,08 мм) [4], 0,1 % благородного металла содержится в минералах-концентраторах, таких как кварц, полевой шпат, ильменит, мартит и т.д. Соответственно 77,8 % золота приходится на долю наноразмерного и ионного Au.

Полученные после фракционирования водные растворы, с целью определения в них размерности и содержания наночастиц и ионов золота, пропускались через серию фильтров (красная /белая /синяя лента) с размером пор, соответственно 8-12, 5-8, 3-5 мкм. На всех этапах полученные фракции, осадки на фильтрах и растворы анализировались атомно-абсорбционным методом на содержание в них золота.

Гранулометрия пробы (-1) участка Галенитовый в результате пробоподготовки и распределение содержания золота по мелким фракциям представлено на рисунке 1.

По полученным данным наибольшее количество золота 74,83% содержится во фракции (-1+0,5 мм), причем 17,9% из него видимое самородное, 0,04% приходится на Au в установленных минералах-концентраторах. Не смотря на разный объем массы и содержания Au во фракциях (-0,5+0,25) и (-0,25) установлено примерно одинаковое количество благородного металла (по 9,1%), в том числе по 2% видимого. Практически 3,5% Au невидимого находится во фракциях (-12+3 мкм) и столько же (3,5%) золота, вероятно коллоидного, установлено в водных растворах, использованных для пробоподготовки (рис.1).

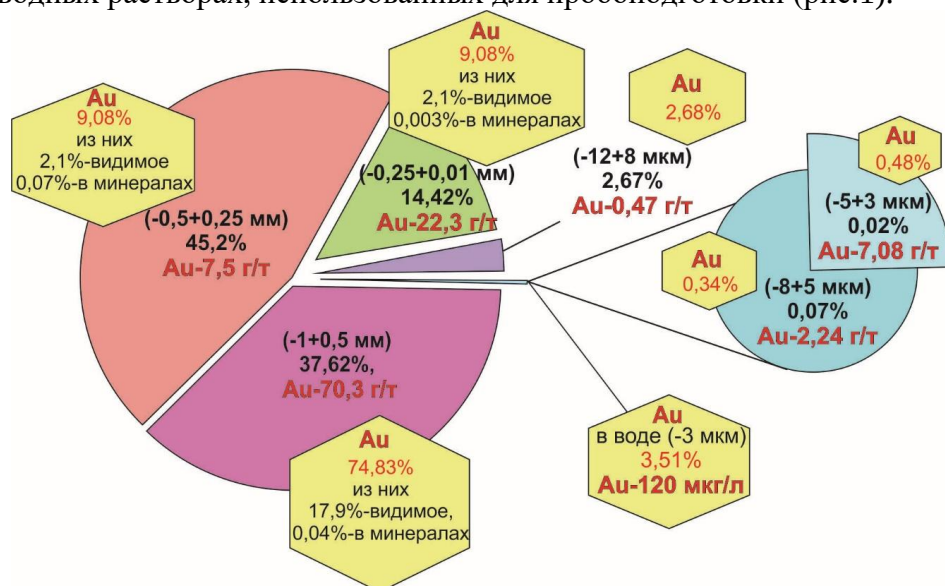


Рисунок 1 – Состав пробы (-1) по фракциям и содержание в них золота.

Таким образом, установлено, что 77,9% самородного золота от всего содержащегося в исследованной пробе (фракция -1 мм) относится к невидимому, в том числе связанного (в минералах-концентраторах) – 0,1% и условно коллоидного (в растворах) – 3,5% (рис. 1). Причем наибольшая часть и видимого (17,9%) и невидимого (56,9%) золота сконцентрирована во фракции (-1+0,5 мм).

Микро- и нанозолото в рудах, россыпях и даже минералах распределено крайне неравномерно, что обуславливает необходимость применения специальной методики опробования, обеспечивающей представительность и достоверность проб. Состояние современной науки позволяет произвести количественную оценку перспективных площадей с учётом содержания невидимого золота в россыпях и корях выветривания и дать оценку их ресурсов.

Литература

1. Геологическая карта: N-52 (Зея). Государственная геологическая карта Российской Федерации (третье поколение). Геологическая карта. Дальневосточная серия, масштаб: 1:1000000, составлена: ФГБУ «ВСЕГЕИ», 2007 г., редактор(ы): Вольский А.С.
2. Моисеенко В.Г., Моисеенко Н.В. Концентрация наноминералов золота в процессе образования руд Покровского месторождения // Доклады академии наук. 2012. Т. – 444. № 1. С. 73-76.
3. Кузнецова И.В. Проблемы выделения наноразмерного золота при россыпной золотодобыче (на примере Приамурья) // Руды и металлы. 2014. № 4. С. 52-57
4. Моисеенко В.Г. От атомов золота через кластеры, нано- и микроскопические частицы до самородков благородного металла. ДВО РАН: Амурское отделение РМО. 2007. - 187 с.

О ПРИРОДНЫХ АМАЛЬГАМАХ ЗОЛОТА И СЕРЕБРА В РОССЫПЯХ РУЧЬЁВ ЮЖНОГО СКЛОНА БЕЛОЙ ГОРЫ (ХАБАРОВСКИЙ КРАЙ)

Н.А. Лаврик, lavrik@igd.khv.ru, Н.М. Литвинова, nauka22@yandex.ru

ХФИЦ Институт горного дела ДВО РАН, г. Хабаровск

Известно, что при разработке золотоносных россыпей, сформированных за счёт сложных золоторудных месторождений, часть золота в силу различных причин, уходит в отвалы, что позволяет подвергать их вторичной отработке [1]. Следовательно, уже на начальном этапе важно, как можно более полно оценить минералогические и технологические особенности извлекаемого сырья. Неполнота знаний или умалчивание о возможных сложностях зачастую приводят к плачевным результатам. В частности, это относится к возможному присутствию в россыпях амальгам золота и серебра, которые могут иметь как техногенный, так и природный характер.

Одним из таких примеров являются россыпи ручьёв южного склона г. Белая Гора с одноимённым месторождением рудного золота (Хабаровский край). Не останавливаясь на всех минералого-технологических характеристиках золота, осложняющих процесс извлечения и обогащения, в данной статье рассмотрим присутствие природных амальгам в россыпях.

Разрабатываемые россыпи ручьёв Покровский и Верный начинаются в непосредственной близости от золоторудного месторождения Белая Гора и относятся к пролювиально-делювиальным и делювиально-аллювиальным. Нижняя граница промышленной золотоносности в среднем достигает 12,8 м от дневной поверхности. Золото весьма неравномерно рассеяно по всей толще песчано-глинистых отложений с дресвой, щебнем. Рыхлые отложения подстилаются интенсивно выветрелыми, дезинтегрированными базальтами, андезитами. Преобладает мелкое золото до 0,9 мм – 94,8 %. Средняя пробность золота 695 [12ф].

Так как россыпеобразующие ручьи Покровский и Верный дренируют золоторудные породы месторождения, необходимо кратко коснуться геологической характеристики месторождения Белая Гора и близлежащих территорий, на которых формируется золотороссыпное месторождение. Геологическая позиция дана по материалам [2-5, 13ф]. Рудное месторождение относится к золотосеребряному (эпитермальномu жильному типу) с примесями Hg, Cu, Pb, Zn. Расположено в районе тектонического сжатия Северно-Сихотэ-Алиньского вулканогенного пояса. Рудное поле месторождения представлено сложной вулканической структурой с концентрически-зональным строением, подчёркнутым кольцевыми и радиальными разломами. На территории района развиты также разломы северо-западного, близширотного и блимеридионального простирания, подчёркнутые зонами дробления. В пределах площади исследований обнажаются покровы вулканогенных пород разнообразного состава (верхний мел- нижний миоцен K_2-N_1) и слабо литифицированные отложения (верхний миоцен N_1). Ручьи Покровский и Верный дренируют эоцен-олигоценые (P_2-3) породы. Среди вулканогенных пород развиты: базальты, андезибазальты, трахибазальты, трахиандезибазальты, встречаются лейкобазальты, андезиты, долериты, габбро-долериты и останцы толщи туфов риолитов, риодацитов, трахидацитов, дацитов, туффитов, туфопесчаников, туфоконгломератов.

На золоторудном месторождении покровные образования прорваны олигоценowymi экструзиями трахидацитов и трахитов, отмечаются дайки полевошпатowych порфиров, брекчии взрыва. Характерно брекчирование и интенсивная пропилитизация, аргиллизация; окварцевание пород. Само месторождение является золоторудным штокверком. Рудные

минералы представлены золотом, серебром, аргентитом, пиритом, марказитом, халькопиритом, сфалеритом, киноварью, галенитом, гематитом, арсенопиритом, вольфрамитом, касситеритом.

Известно, что золото на Белой Горе встречается в сростании с киноварью [6].

В Институте горного дела ДВО РАН изучение зёрен золота, уходящих в отвалы, проводилось из россыпей ручьёв Покровский и Верный, формирующихся на южных склонах г. Белая Гора. Предварительная оценка на содержание золота проб (весом от 350 г до 2,5 кг) исходных песков и продуктов обогащения (шлихи, магнитная, электромагнитная фракции) выполнялись полуколичественным анализом с использованием атомно-эмиссионного многоканального спектрометра «Гранд» (спектральный анализ V категории точности). Количественный анализ на золото осуществлялся пламенным атомно-абсорбционным методом после экстракции изоамиловым спиртом (методика НСАМ – 131-С).

Качественный минералогический анализ проводился с применением микроскопов Stemi 2000, Stereo Discovery V8 фирмы ZEISS, сканирующего электронного микроскопа «JEOL» (Япония), оснащенного энергодисперсионным рентгеновским анализатором «JCM-6000 PLUS». На электронном микроскопе изучались морфология зёрен золота, характер поверхности, состав, включения и вроски других минералов, определялась пробность золота. Размер исследованных зёрен от 10-15 микрон до 3 мм (от пылевидного до крупного), единично анализировалось тонкодисперсное золото в доли мкм.

Исследованные зёрна золота (более 150) весьма разнообразны не только по величине, но также по морфологии, основному составу, количеству и составу примесей, включений. В россыпях ручьёв южного склона Белой Горы отмечаются зёрна золота ярко-жёлтого цвета, высокопробного, в виде изометричных сростков и отдельных кристаллов; в виде сростков кристаллов с разной пробностью; в виде дендритовидных сростков, крючковатых выделений зеленовато-жёлтого цвета с высоким содержанием серебра (электрум). Золото имеет уплощённую форму, содержит включения порообразующих и рудных минералов (кварца, монтмориллонита и каолинита, магнетита, гематита, ильменита и др.).

На отдельных участках россыпей ручьёв Покровский и Верный в золоте отмечается примесь ртути от долей до 38 % массы. При этом высокортутистые образования имеют своеобразный облик; среди них можно выделить амальгамы золота с серебром и вейшанит. Эти минеральные фазы рассмотрим несколько подробнее.

Амальгамы золота и электрума – зёрна очень светлого сероватого или серовато-жёлтого цвета с металловидным блеском, неправильной формы со сглаженными оплывшими границами, в некоторых случаях с проступающими элементами кристаллографических огранок (рис. 1).

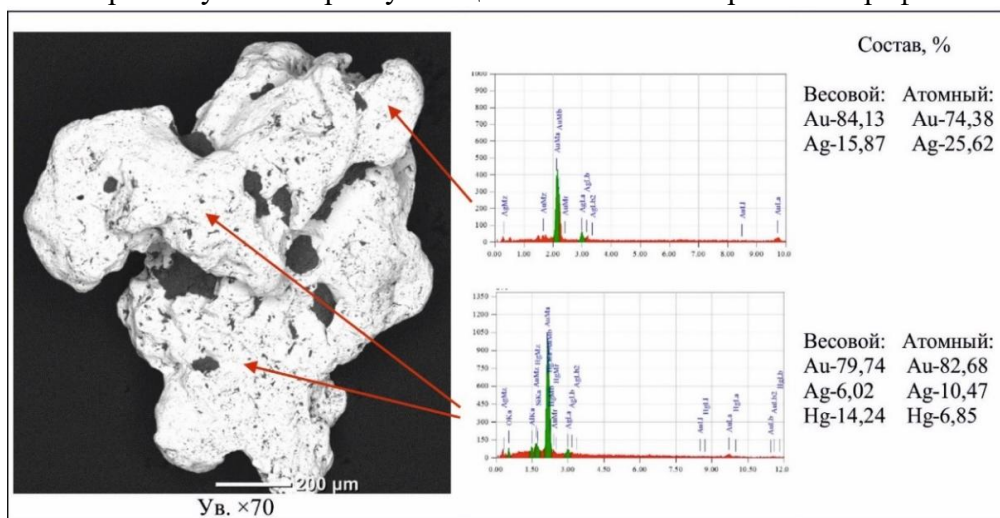


Рис. 1. Зерно амальгамы золота и серебра (1,3×1,1 мм) с вариативным распределением содержания серебра (до 20,47 %) и ртути (от 0-6,57 до 14,24 % масс.). Фотография со сканирующего электронного микроскопа. Показаны энергодисперсионные спектры элементов

Форма зёрен разнообразная: от простой скруглённой до сложных оплывших сростков. Поверхность зёрен неровная, тонкопористая, нередко натёчная. В порах обычно содержатся мельчайшие включения порообразующих минералов. Содержание примеси серебра даже в одном зерне может варьировать также, как и примесь ртути, от 0,п % до 28,3 % масс. Высокое

содержание примеси ртути может отмечаться как центральной части зерна, так и на периферии зёрен (известно, что при техногенной амальгаме золота, ртуть в основном распределяется в кайме зёрен). Вариативно может присутствовать примесь Pd, Nb, Cu, Fe. В углублениях могут быть зёрна кварца, глинистых минералов, ильменита, гематита, магнетита, вюстита FeO, интерметаллидов железа-хрома изменчивого состава.

Вейшанит $(Ag,Au)_3Hg_2$ – зёрна светлого желтовато-серого, серого цвета с металловидным блеском или матовые, образующие отдельные рыхлые ажурные сростки мельчайших (5-30 мкм) призматических кристалликов, пластинчатых пакетов и натёчных образований (рис. 2).

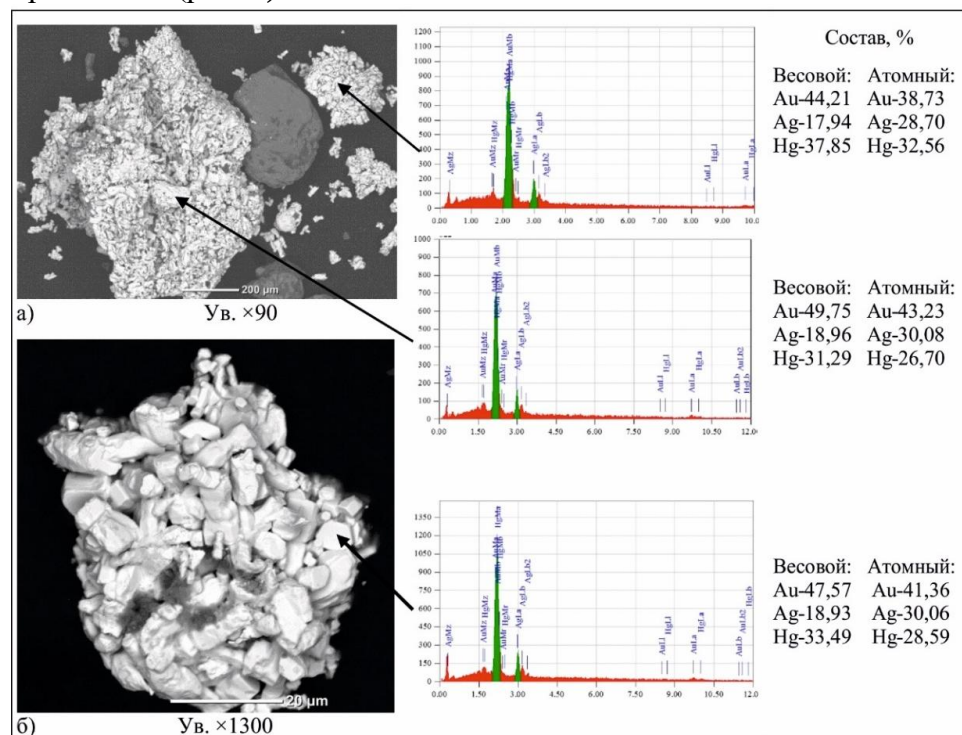


Рис. 2. Вейшанит:
а) рыхлые сростки кристалликов вейшанита различной величины;
б) сросток (50×60 мкм) призматических, изометричных и пластинчатых кристаллов вейшанита. Фотографии со сканирующего электронного микроскопа. Показаны энергодисперсионные спектры элементов.

Вейшанит встречается как в виде мелких самостоятельных выделений, похожих на пушистую пыль, так и в виде рыхлых корочек, налётов, полностью или частично, покрывающих зёрна кварца, магнетита, гематита, ильменита. Визуально вейшанит сложно определить, как золотосодержащий минерал. В отдельных случаях при больших увеличениях в кристалликах просматривается гексагональное сечение. Золото содержит высокую примесь серебра и ртути. Состав и соотношение Au, Ag и Hg в призматических кристаллах, пластинчатых пакетах и натёчных формах варьирует незначительно, т.е. достаточно стабильно во всех зёрнах. В амальгамах электрума содержание золота обычно выше, чем в вейшаните. В углублениях кристалликов встречаются включения оксидов железа, плагиоклазов, калий-натровых полевых шпатов, альбита, азотисто-углеродистых образований с галитом, в некоторых случаях хлориды и оксиды ртути (каломель $HgCl$ и монтроидит HgO). Несмотря на длительность добычных работ на золотороссыпных месторождениях в пределах Белой Горы, вейшанит ранее в составе минералов россыпей не упоминался. В технологическом плане вейшанит является упорным минералом, в генетическом – глубинным [7, 8].

Примесь ртути чаще появляется в золоте из месторождений сложного генезиса, в которых наряду с ранней проявилась поздняя сульфидная минерализация, и в то же время по зонам проявлений Hg-содержащего золота можно распознавать крупные разломы глубокого заложения. Источниками рудных компонентов таких объектов являются мантийные флюиды, поступающие по глубинным разломам. С зонами глубинных разломов связана также минерализация самородных элементов и интерметаллидов [9-11].

В минеральной ассоциации с золотом, амальгамами золота и серебра, вейшанитом в россыпях ручьёв южного склона Белой Горы авторами были выделены самородные элементы:

Fe, Cr, Zn, Cu, Al, Sb, Sn, Pb, различные интерметаллиды, а также высокоуглеродистые образования. При этом в электромагнитной и магнитной фракциях до 10 % зёрен представлены сферами и микросферами хром-железистого и другого состава. В тексте [12ф] и на схематических геологических картах показано, что «в 1,2-1,5 км от истоков в долинах ручьёв Покровского и Верного наблюдается контакт между золотосодержащими Белогорскими комплексами пород и базальтами кизинской свиты. Контакт проходит по тектоническому разрыву».

Таким образом, в россыпях ручьёв Покровский и Верный присутствует разнообразное золото, связанное с размывом пород эпитермального золоторудного месторождения и более позднее с повышенными содержаниями ртути (амальгамы золота - серебра и вейшанит), проявляющееся локально, связанное с глубинными разломами.

Литература

1. Гольдфарб Ю.И., Прейс В.К. Резервы золота в отработанных россыпях Северо-Востока России // Самородное золото: типоморфизм минеральных ассоциаций, условий образования месторождений, задачи прикладных исследований: Всероссийская конференция, посвященная 100-летию Нины Васильевны Петровской, 29-31 марта 2010 г., Москва: [сб. докл., Том I]. Москва: ИГЕМ РАН, 2010. С. 153-155.
2. Мишин Л.Ф. Гидротермально изменённые породы и поисковая оценка месторождения Белая Гора. Геология и полезные ископаемые Приамурья. – Хабаровск: Хабаровск – Магеллан, 1999. – С. 172-177.
3. Володькова Т.В. Особенности рудоносных палеовулканических структур Приамурья и вулканов Курил по аэрогеофизическим данным // Новые и нетрадиционные типы месторождений полезных ископаемых Прибайкалья и Забайкалья: Всероссийская научно-практическая конференция, 10-12 ноября 2010 г., Улан-Удэ: [сб. докл.]. Улан-Удэ, 2010. С.45-48.
4. Константинов М.М., Косовец Т.Н. Сихотэ-Алинская провинция. Золоторудные месторождения России. – М.: Акварель, 2010. – С. 242-259.
5. Остапенко Н.С., Нерода О.Н. Некоторые особенности формирования месторождений золота Хаканджа, Многовершинное и Белая Гора (Россия) // Международный научно-исследовательский журнал. Геолого-минералогические науки. 2019. № 12 (90), Часть 1. С. 148-153. [Электронный ресурс] URL: [https:// research-journal.org](https://research-journal.org).
6. Онихимовский В.В., Беломестных Ю.С. Полезные ископаемые Хабаровского края (Перспективные для освоения месторождения и проявления). – Хабаровск: Комитет по геологии и использованию недр РФ, «Дальгеолком», НТЦ «Дальгеоцентр», Приамурское Географическое общество, 1996. – 484 с.
7. Yuheng Li, Shan Ouyang, Peixie Tian. Weishanite – a new gold-bearing mineral // Acta Mineral, 1984. № 2. P. 102-105.
8. Дамдинов Б.Б., Рошкетаяев П.А., Канакин С.В. Интерметаллиды Au-Ag-Hg в рудах Коневинского золоторудного месторождения (Восточный Саян) // Минералогия Северо-Восточной Азии: III Всероссийская научно-практическая конференция, посвящённая 20-летию кафедры геологии Бурятского госуниверситета, Улан-Удэ: [сб. докл.]. Улан-Удэ: ИД «Экос», 2012. С. 220-222.
9. Петровская Н.В. Самородное золото (общая характеристика, типоморфизм, вопросы генезиса). – М.: Наука, 1973. – 347 с.
10. Озерова Н.А. Ртуть и эндогенное рудообразование. – М.: Наука, 1986. – 232 с.
11. Гореликова Н.В., Магазина Л.О., Наумова В.А. Природные амальгамы Au и Pt в золотоносных россыпях Верхнекамской впадины // Самородное золото: типоморфизм минеральных ассоциаций, условий образования месторождений, задачи прикладных исследований: Всероссийская конференция, посвященная 100-летию Нины Васильевны Петровской, 29-31 марта 2010 г., Москва: [сб. докл., Том I.]. Москва: ИГЕМ РАН, 2010. С. 156-158.
12. Чирков П. Л., Желонин К. К., Соснин А. Л. Отчет о результатах геологических работ на южном склоне Белой Горы с пересчетом запасов россыпного золота по месторождению ручьев Покровский, Верный по состоянию на 01.09.1975 г. (По работам Херпучинской партии за 1968-1974 гг.) – Хабаровск, 1975. – Федеральное агентство по недропользованию (Роснедра) ФБУ «ТФГИ по Дальневосточному федеральному округу».
13. Бирюков Е.И. Отчёт по результатам геологоразведочных работ на рудное золото на флангах месторождения Белая Гора в 2016-2018 гг. – Хабаровск, 2019. – Федеральное агентство по недропользованию (Роснедра) ФБУ «ТФГИ по Дальневосточному федеральному округу».

РОССЫПИ ЗОЛОТА ДОЛИН-ВПАДИН ПРИКОЛЫМСКОГО ПОДНЯТИЯ (СЕВЕРО-ВОСТОК РОССИИ)

И.С. Литвиненко, *litvinenko@neisri.ru*

СВКНИИ ДВО РАН, г. Магадан

Россыпи долин-впадин – это своеобразный тип россыпей, формирующихся на участках резкого расширения речных долин и многократного возрастания мощности выполняющих их рыхлых отложений. Классическим районом развития данных россыпей является Центрально-Алданский золотоносный район. На примере наиболее известной «древней россыпи реки Большой Куранах» в работах С.Г. Желнина [3, 4] они получили название россыпей грабен-долин. В монографии, посвященной сводному описанию россыпных месторождений России и других стран СНГ [8], они рассматриваются как аллювиальные россыпи долин-грабенов. Поскольку по последним данным [7] в формировании отрицательной формы рельефа на участках развития таких россыпей основную роль играют не тектонические, а суффозионные (по зонам интенсивной тектонической проработки) и карстовые (по карбонатным толщам и участкам интенсивной сульфидизации) процессы, то, на наш взгляд, более корректно их именовать россыпями долин-впадин.

На Северо-Востоке России наибольшее развитие россыпей золота долин-впадин отмечается в Шаманиха-Столбовском золотоносном районе в центральной части Приколымского складчато-глыбового поднятия. Россыпные месторождения района и проявления рудной золотоносности тяготеют к полосе развития верхнепротерозойских метаморфических осадочных и карбонатных пород с небольшими выходами позднеюрских конгломератов, выполняющих узкие депрессии.

Наибольший интерес по количеству сосредоточенных запасов золота, особенностям геологического строения и формирования среди выявленных россыпных месторождений долин-впадин Шаманиха-Столбовского золотоносного района представляют россыпи Верхне-Глухаринской впадины.

Верхне-Глухаринская впадина охватывает верховья руч. Глухариный и имеет протяженность около 8 км при ширине до 4,5 км. Поверхность коренного основания впадины, сложенного хлорит-серицитовыми сланцами, известняками и доломитами, при общей чашеобразной форме очень неровная с опусканиями и воздыманиями, осложненными многочисленными выступами, изометричными и линейными западинами, карстовыми воронками. Верхние горизонты пород коренного основания на глубину до 2–3 м разрушены до щебнево-супесчанового или дресвяно-суглинистого состояния, широко распространены зоны окварцевания с рудной минерализацией.

Выявленные в днище впадины и ее горном обрамлении рудные проявления представлены полями и зонами прожилково-сетчатого окварцевания и сульфидизации с отдельными кварцевыми жилами. В большинстве своем это корневые части рудных систем золото-кварц-сульфидного (золото-полисульфидно-кварцевого) типа, характеризующихся развитием оруденения с золото-серебряной (золото-серебряно-сурьмяной), золото-полисульфидной и золото-гематит-пиритовой минерализацией [6]. Приуроченность наиболее богатых частей россыпей к карбонатным толщам, золото-кварц-сульфидный колчеданно-полиметаллический характер оруденения источников их питания, позволяют предполагать наличие и залежных рудных тел куранахского типа в разрушенных частях рудно-магматических систем.

В северо-западной и центральной части впадины, мощность рыхлых отложений достигает 20 м. Для них характерно генетическое разнообразие, невыдержанность литологического и фациального состава.

Наиболее древними являются отложения карстовых полостей (глубиной до 5–8 м) в днище впадины, представленные супесями, суглинками и глинами с примесью кварцевой гальки, гравия и песка с тонкими линзами гравийно-галечного кварцевого материала. Они образовались в результате активного химического выветривания наиболее интенсивно оруденелых участков пород в днище долины руч. Пра-Глухариный, где процессы выветривания развивались на максимальную глубину.

Карстовые полости по рудным зонам с золото-кварц-сульфидным оруденением в риолит-порфирах и карбонатных породах выполнены красно-бурыми, белыми и зеленоватыми суглинками и глинами с дресвой и щебнем преимущественно кварцевого состава; по рудным зонам с золото-сульфидно-кварцевым оруденением в сланцах и алевролитах – дресвой и щебнем с супесчаным заполнителем. Возраст этих образований по данным спорово-пыльцевого анализа – палеоцен-эоценовый [5].

В основании выполняющей впадину основной толщи рыхлых отложений в линейных понижениях залегает слой инстративного аллювия (рис. 1). Он сложен плохо- и среднеокатанной галькой и гравием кварца и осадочных пород с небольшим количеством щебня и валунов с супесчаным или суглинистым заполнителем серо-черно-бурого цвета. Выше располагается аккумулятивная толща констративного аллювия, представленная слоями, сложенными кварцевой плохоокатанной галькой, гравием с супесчаным заполнителем серого или черно-бурого цвета и отдельными валунами и глыбами кварцитов. Они чередуются со слоями песка различной крупности серого, серо-буро-черного, желто-рыжего цвета с плохоокатанным гравием и редкой галькой кварца с прослойками гравия и ила. В верхней части разреза залегают серо-желтые, желто-бурые аллювиально-коллювиальные (солифлюкционно-делювиальные) суглинки со щебнем, дресвой, слабоокатанной галькой и отдельными глыбами осадочных пород.

Возраст всей рассмотренной толщи рыхлых отложений по материалам проведенных работ и данным других исследователей [5] – раннемиоценовый. В средней части впадины на ней фрагментарно залегают слои констративного аллювия, сложенные плохоокатанными галькой и гравием с супесчаным заполнителем светло-серого цвета и отдельными валунами и крупнозернистым песком с гравием и галькой, формировавшиеся в раннеплиоценовое время [5]. На юго-восточном фланге впадины помимо описанной выше толщи неогеновых отложений существенную роль играют четвертичные склоновые образования. Общая мощность отложений здесь достигает 70 м.

Россыпные концентрации золота сосредоточены в отложениях карстовых воронок, в приплотиковой части и в пределах всей толщи выполняющих впадину отложений.

В карстовых полостях золотоносные концентрации, достигающие килограммовых содержаний, присутствуют во всей толще выполняющих их рыхлых отложений. Распределение золота носит гнездовой характер. Богатые гнезда либо распределены по всему разрезу, либо сосредоточены в его нижней части. Наиболее высокие содержания приурочены к наиболее глинистым отложениям, присутствующие в них линзы гравийно-галечного материала часто вообще не золотоносны. Рассматриваемые россыпные концентрации отличаются очень крупным преимущественно комковидной формы слабоокатанным золотом, находящимся зачастую в темно-коричневой или черной «рубашке». Средняя его крупность по данным разведочных и эксплуатационных работ достигает 3–4 мм.

Приплотиковые россыпи (так называемые «нижние пласты» россыпей руч. Глухариный и его притоков руч. Дорожный и Глухой) прослежены в виде узких ленточных залежей, приуроченных к линейным западинам в коренном основании впадины. Золото концентрируется в нижних горизонтах инстративного аллювия, глубоко проникая в разрушенные коренные породы. Данные россыпи сложены относительно крупным (средняя диаметр золотин в россыпи руч. Глухариный по результатам разведочных работ составляет 2,2 мм), преимущественно неокатанным и плохоокатанным золотом, среди которого преобладают комковидные и тонкопластинчатые разности при подчиненной роли последних. Субпоперечная ориентировка в «нижнем пласте» россыпи руч. Глухариный по отношению к его простиранию богатых

участков и «струй» свидетельствует о том, что он представляет собой серию слабо преобразованных аллювиальными процессами остаточных концентраций кор выветривания, объединенных в единый промышленный пласт.

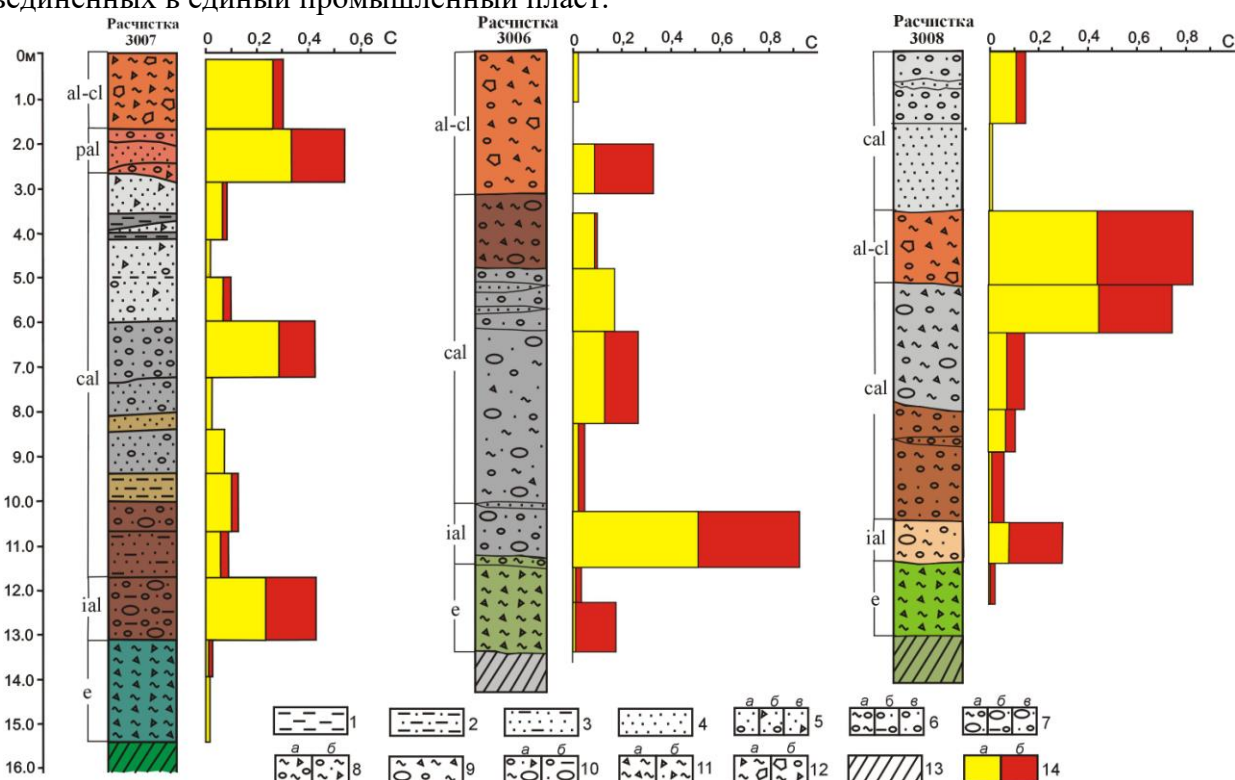


Рис.1. Строение и золотоносность раннемиоценовых отложений в бортах эксплуатационных полигонов в центральной части Верхне-Глухаринской впадины:

1 – ил; 2 – супесь; 3 – илистый песок; 4 – песок; 5 – песок с гравием и галькой (а), гравием, галькой, дрсвой и щебнем (б), дрсвой и щебнем (в); 6 – галька, гравий с суглинком (а), супесью (б), песком (в); 7 – то же с валунами; 8 – галька, гравий, щебень, дресва с глиной (а), суглинком (б); 9 – глина, галька, гравий со щебнем, дресвой и отдельными валунами; 10 – галька, гравий с валунами, дресвой, щебнем, суглинком (а), супесью (б); 11 – щебень, дресва с глиной (а), суглинком (б); 12 – щебень с глиной и отдельными мелкими глыбами (а) и плохоокатанной галькой (б); 13 – трещиноватые коренные породы; 14 – содержание золота фракций менее 0,25 (а) и более 0,25 мм (б). С – содержание золота (г/м³).

Примечание. е – эловий (кора выветривания); ial – инстративный аллювий; cal – констративный аллювий; pal – перстративный аллювий; al-cl – аллювиально-коллювиальные отложения. На литологических колонках показан цвет отложений.

В выполняющей Верхне-Глухаринскую впадину аккумулятивной толще констративного аллювия рассыпные концентрации золота присутствуют по всему разрезу на всем протяжении впадины. Наиболее богатые их скопления получили название «верхнего пласта» («верхних пластов»). Он характеризуется очень мелким (по разведочным данным средняя крупность 0,3 мм) золотом, среди которого преобладают пластинчатые зерна при подчиненной роли комковидных. В основной своей массе они имеют неокатанный или слабоокатанный облик. Типоморфные свойства золота в данных отложениях указывают на его сходство с золотом из рудных проявлений, развитых в прибортовых частях впадины [1, 2, 6].

Опробование толщ рыхлых отложений Верхне-Глухаринской впадины с использованием винтового сепаратора и шлюза показало, что миоценовые аллювиально-коллювиальные (делювиально-солифлюкционные) отложения в верхней части их разрезов также золотоносны (см. рис. 1). Концентрации золота в них достигают 0,8 г/м³. Они представлены весьма мелким (доля зерен крупнее 0,25 мм не превышает 47 %) неокатанным или слабоокатанным пластинчатым и комковидным золотом, сходным с золотом из рудных проявлений в прибортовых частях впадины.

Таким образом, россыпная золотоносность Верхне-Глухаринской впадины является полигенной. В ней присутствует четыре генетических типа россыпей: остаточные – реликты

остаточных россыпей палеогеновых кор выветривания; остаточно-аллювиальные инстративные, сформировавшиеся в результате преобразования в ходе активизации эрозионных процессов в раннем миоцене остаточных россыпей кор выветривания в днище прадолины руч. Глухариный; остаточно-аллювиальные констративные, в которые были переотложены остаточные россыпи кор выветривания с междуречных пространств; и остаточно-коллювиальные, представляющие собой остаточные россыпные концентрации кор выветривания, смещенные во впадину в результате активного развития в неогеновое время в ее обрамлении процессов тропической солифлюкции.

Проведенное опробование аккумулятивных толщ Верхне-Глухаринской впадины с применением винтового сепаратора и шлюза позволяет рассматривать ее как крупнообъемное россыпное месторождение с весьма мелким и тонким золотом. По полученным данным средние содержания золота за пределами отработанных промышленных контуров на всю массу породы составляют около $0,3 \text{ г/м}^3$, а сосредоточенные в аккумулятивной толще (частично перешедшие в отвалы комплексы) его запасы оцениваются в 40 т. Перспективным так же представляется выявление в днище впадины реликтов остаточных россыпей кор выветривания.

Литература

1. Глухов А.Н. Геологическое строение и состав руд золоторудного месторождения Надежда (Магаданская область) // Отеч. геология. 2013. № 4. С. 7–17.
2. Глухов А.Н., Савва Н.Е., Буляков Г.Х., Хомина М.И., Бирюков А.А. Самородное золото в рудах и россыпях Глухаринского узла // Руды и металлы. 2018. № 2. С. 55–65.
3. Желнин С.Г. Золотоносность Центрально-Алданского района и перспективы погребенных россыпей: Автореф. дис... канд. геол.-минер. наук. Магадан. 1967. 20 с.
4. Желнин С.Г. Условия образования аллювиальных россыпей золота на Северо-Востоке Азии. – М.: Наука, 1979. – 120 с.
5. Казанцев А.С., Жарикова Л.П. Стратиграфия рыхлых отложений правобережья р. Колымы // Кайнозой Восточной Якутии. Якутск: ЯНЦ СО АН СССР. 1980. С. 76–86.
6. Литвиненко И.С. Геохимия и парагенезис самородного золота россыпных месторождений Шаманиха-Столбовского района // Чтения памяти академика К.В. Симакова: тез. докл. Всерос. научн. конф. (Магадан, 27-29 ноября 2007 г.) / отв. ред. И.А. Чернышев; редкол. Н.А. Горячев и др. Магадан: СВНЦ ДВО РАН, 2007. С. 95–96.
7. Литвиненко И.С. О строении и генезисе древней россыпи реки Б. Куранах // Разведка и охрана недр. 2009. № 11. С. 3–12.
8. Россыпные месторождения России и других стран СНГ (Минералогия, промышленные типы, стратегия развития минерально-сырьевой базы). Отв. ред. Н.П. Лаверов, Н.Г. Патык-Кара. – М.: Научный мир, 1997. – 479 с.

ОСОБЕННОСТИ СЕРЕБРА ЗОЛОТОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПИОНЕР (ПРИАМУРЬЕ)

Н.В. Моисеенко, *kaunamka82@mail.ru*, Е.Н.Воропаева, *levorglav@mail.ru*

Институт геологии и природопользования ДВО РАН, Благовещенск

Серебро – элемент-спутник месторождений золота разных формационных типов. Геохимические ассоциации серебра с золотом и другими рудными, редкими и радиоактивными элементами являются предметом исследования специалистов, изучающих условия образования месторождений благородных металлов.

Для выполнения работ было выбрано золоторудное месторождение Пионер, которое находится в Северобуреинской зоне Буреинской провинции Монголо-Охотского золотоносного пояса. В геологическом плане месторождение располагается у северного окончания Мамынского террейна на границе восточного обрамления Гонжинского выступа с Ушумунским наложенным прогибом в зоне контакта раннемеловых гранитоидов с верхнеюрскими терригенными отложениями. Образование месторождения связано с системой разломов северо-восточного и северо-западного простирания, к ним приурочены и основные рудные зоны месторождения [1].

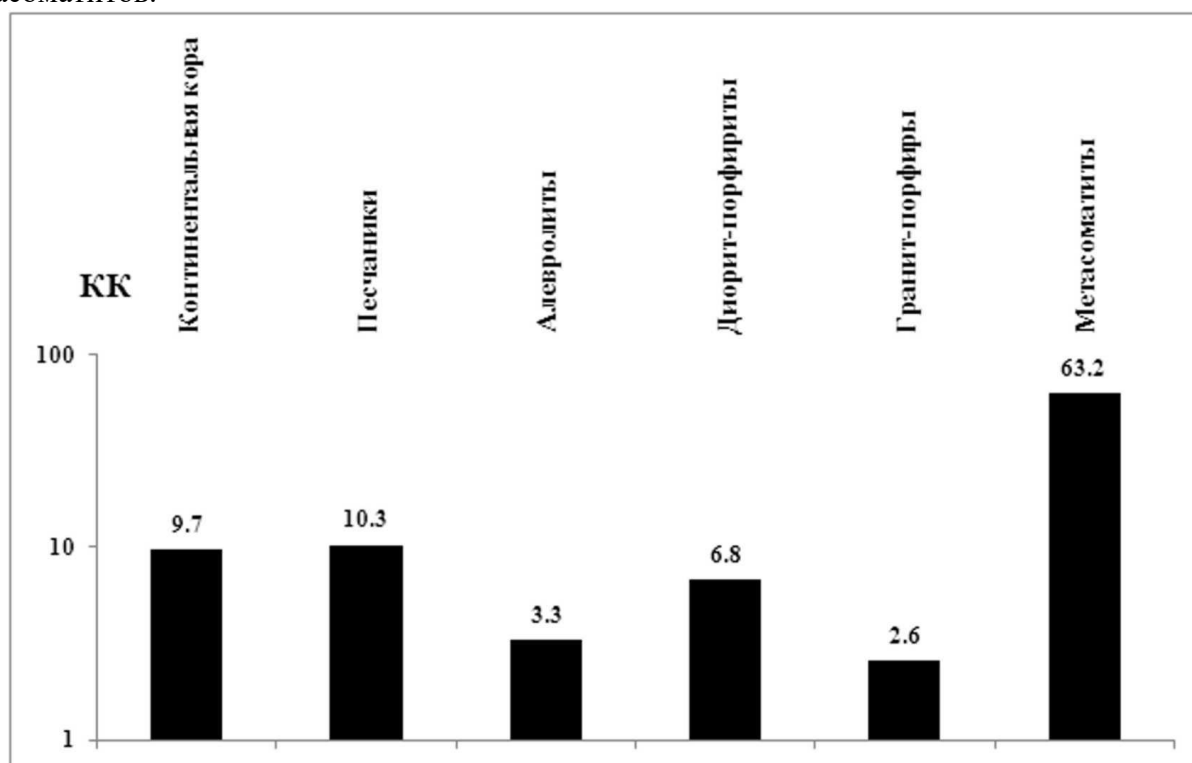
Пробы пород и рудных метасоматитов весом от 10 до 50 кг были взяты из пяти рудных зон месторождения: Андреевская, Промежуточная, Южная, Бахмут и Николаевская. Был проведен минералогический анализ проб с определением основных породообразующих, рудных и акцессорных минералов. Содержания петрогенных элементов были установлены с помощью рентгено-флуоресцентного анализа. Для определения редких и радиоактивных элементов был применен метод масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ICP-MS). Содержания серебра в пробах определялись с помощью атомно-абсорбционного метода. Зерна минералов серебра и сростки минералов изучались методами электронной микроскопии на ZEISS EVO-50 XVP с энергодисперсионным рентгеновским (ЭДР) спектрометром INCA Energy-350. Полированные шлифы исследовались на электронном микроанализаторе JXA-8100 (JEOL, Япония). Для установления корреляционных связей между серебром и другими элементами была использована программа STATISTICA-6.

Основные разновидности осадочных пород месторождения Пионер представлены верхнеюрскими песчаниками, алевролитами и углеродистыми аргиллитами. Магматические породы месторождения состоят из гранитов, гранодиоритов, диоритов, диорит-порфириров и гранит-порфиров юрского и мелового возраста. По данным минералогического анализа, основными петрогенными минералами являются кварц и полевые шпаты (ортоклаз, адуляр), из акцессорных минералов встречаются циркон и монацит.

Рудные метасоматиты развивались по осадочным и магматическим породам месторождения и состоят преимущественно из серицит-кварцевых, хлорит-серицит-кварцевых и карбонат-кварц-серицитовых разностей. Основные породообразующие минералы метасоматитов (кварц, полевые шпаты, слюды, карбонаты) составляют 92-98%; оставшиеся проценты представлены сульфидами, которые на 99% состоят из арсенопирита и пирита с преобладанием последнего. Кроме арсенопирита и пирита, встречаются галенит, сфалерит, халькопирит, молибденит, антимонит, сульфосоли свинца и сурьмы, блеклые руды, самородное золото, сульфиды серебра, теллуриды золота и серебра.

На месторождении установлены повышенные концентрации некоторых рудных элементов, в том числе и серебра. Для определения кларков концентраций серебра основных типов пород средние содержания серебра в породах были пересчитаны к среднему содержанию в идентичных породах верхней континентальной коры, а средние содержания серебра в рудах были пересчитаны к среднему содержанию серебра в верхней континентальной коре [2].

Результаты пересчетов представлены на рисунке 1. Среди осадочных пород наиболее низкие концентрации серебра характерны для алевролитов, среди магматических пород – у гранит-порфиров. Максимальные концентрации благородного металла закономерно встречаются среди метасоматитов.



Примечание: $KK = Ag(\text{песчаники месторождения}) / Ag(\text{песчаники континентальной коры})$, где $Ag(\text{песчаники месторождения})$ – среднее содержание серебра в песчаниках месторождения, $Ag(\text{песчаники континентальной коры})$ – среднее содержание серебра в песчаниках верхней континентальной коры.

Рис.1 Гистограмма кларков концентраций серебра для разных типов пород и рудных метасоматитов месторождения Пионер.

При исследовании образцов методами электронной микроскопии было установлено, что в кварц-золото-молибденит-халькопиритовой ассоциации минералами-концентраторами серебра, кроме самородного золота, являются гессит и серебросодержащие теннантит и тетраэдрит. Замещение меди серебром в блеклых рудах составляет 1-2%. Встречаются галениты с примесью серебра. В более поздней золото-адуляр-кварц-полисульфидной ассоциации основную роль в концентрации серебра играют собственные минералы серебра – акантит и аргентит. В окислах и гидроокислах железа установлены микроскопические выделения самородного серебра. Примесь серебра в этой ассоциации имеют такие минералы как ковеллин ($Ag-4.21\%$), сульфосоль меди и свинца – бурнонит ($Ag-1.64\%$), сфалерит ($Ag-1.55\%$), халькозин ($Ag-0.74\%$) и висмутин ($Ag-1.64\%$). Содержание серебра в теннантите и тетраэдрите доходит до 5%. В самой поздней из рудных ассоциаций – золото-кварц-сульфосольно-антимонитовой – к уже названным минералам добавляется теллурид золота – петцит, сульфоантимониды серебра и меди (прустит, пираргирит, миаргирит), сульфоантимониды серебра и свинца (андорит, бенлеонардит). В блеклых рудах (теннантит, тетраэдрит) содержание серебра увеличивается до 9%, а в фрейбергитах оно достигает 29%. Чаще всего примесь серебра встречается в сфалерите, особенно в каймах на границе сфалерита и высокосеребристых тетраэдритов и фрейбергитов. Иногда каймы с серебром состоят из нескольких сростшихся фаз таких минералов как сфалерит, галенит и ковеллин.

Для выяснения геохимической корреляции между серебром и другими элементами была использована программа STATISTICA-6. Результаты пересчетов представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Коэффициенты корреляций Ag с породообразующими, редкими, рудными и радиоактивными элементами.

Элемент	r - 0.21	Элемент	r - 0.21	Элемент	r - 0.21
Si	0.31	Zn	0.06	Sm	-0.37
Na	-0.52	As	0.21	Eu	-0.39
Mg	-0.41	Se	0.07	Gd	-0.40
Al	-0.42	Rb	-0.11	Tb	-0.43
P	-0.52	Sr	-0.45	Dy	-0.44
Собщ	-0.09	Y	-0.38	Ho	-0.42
K	-0.28	Zr	-0.50	Er	-0.43
Ca	-0.31	Nb	-0.48	Tm	-0.42
Ti	-0.62	Mo	-0.02	Yb	-0.43
Mn	-0.12	Cd	0.15	Lu	-0.40
Fe	-0.36	Sn	-0.15	Hf	-0.52
Li	0.15	Sb	0.66	Ta	-0.45
Be	-0.20	Te	0.69	W	-0.09
Sc	-0.50	Cs	0.00	Au	0.64
V	-0.51	Ba	-0.42	Hg	0.17
Cr	-0.30	La	-0.32	Pb	0.43
Co	-0.38	Ce	-0.32	Bi	0.23
Ni	-0.31	Pr	-0.34	Th	-0.51
Cu	0.18	Nd	-0.36	U	-0.45

На месторождении Пионер серебро положительно коррелирует с такими рудными элементами как, мышьяк, сурьма, теллур, золото, свинец и висмут, а из петрогенных – с кремнием. Высокую положительную корреляцию с сурьмой и свинцом можно объяснить присутствием сульфосолей сурьмы в минеральных ассоциациях вместе с золотом и минералами серебра, а с теллуром – наличием гессита практически во всех минеральных ассоциациях золоторудного этапа. Увеличение кремнекислотности приводит к увеличению содержания серебра, что указывает на положительное влияние кварцевого метасоматоза при образовании благородного металла. Прослеживается отрицательная корреляция серебра с магматогенной группой элементов – скандием, ванадием, хромом, кобальтом и никелем. Элементы акцессорных минералов: иттрий, цирконий, ниобий, тантал, гафний, весь ряд редких земель (La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu) – и радиоактивные уран и торий также имеют отрицательную корреляцию с серебром. Отрицательная корреляция с элементами акцессорных минералов может быть связана с тем, что эти минералы (монацит, циркон) присутствуют в небольшом количестве и генетически мало связаны с золотом и серебром.

Литература

1. Золоторудные месторождения России / под ред. М.М. Константинова. М: Акварель, 2010. 349 с.
2. Григорьев Н.А. Распределение химических элементов в верхней части континентальной коры. Екатеринбург: УрО РАН, 2009. 382 с.

**БЛАГОРОДНОМЕТАЛЬНАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ АРИАДНЕНСКОЙ ИНТРУЗИИ
УЛЬТРАБАЗИТОВ (ПРИМОРЬЕ)**

В.П. Молчанов¹, Д.В. Андросов¹, К.Н. Доброшевский¹, А.А. Юдаков², С.В. Иваников²,
vpmol@mail.ru

¹Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, 690022, г. Владивосток, Россия

²Институт химии ДВО РАН, 690022, г. Владивосток, Россия

В пределах Сихотэ-Алинского орогенного пояса выявлен новый перспективный источник полезных ископаемых – золото-ильменитовые руды и россыпи, пространственно и генетически связанные с дифференцированными интрузиями ультрабазитов [1]. Примером тому могут послужить Ариадненский массив ультраосновных пород и сопровождающий его довольно широкий спектр рудопроявлений полезных компонентов. В цели нашего исследования входило выявление особенностей их концентрации и размещения.

Минералогические исследования осуществлялись с применением электронно-зондового микроанализатора Jeol Superprobe JXA 8100 с системой INCA Energy 350 Oxford Instruments и электронного сканирующего микроскопа EVO-500XVP с системой INCA Energy 350 Oxford Instruments. Измерение изотопных соотношений серы проведено на изотопном масс-спектрометре Finnigan MAT 253 (ThermoFinnigan, Bremen, Germany) с использованием двойной системы напуска.

В геологическом строении Ариадненского рудно-россыпного узла, совпадающего с контурами одноименного массива, принимают участие верхнеюрские турбидиты и олистостромы аккреционной призмы с включениями позднепалеозойских и нижнемезозойских океанических кремней, сланцев, известняков и базальтов. Вулканогенно-осадочные породы прорваны интрузивом ультрабазитов, южная часть которого сложена перидотитами и оливиновыми пироксенитами, переходящими к северу в ильменитовые и роговообманковые габбро, а на севере преобладают диориты, монцодиориты и сиениты. Вышеперечисленные стратифицированные и магматические образования, в свою очередь, прорваны поздними гранитоидами, дайками основного и кислого состава позднемелового возраста [1,2].

С ильменитовыми габбро связано Ариадненское проявление золото-ильменитовой минерализации (среднее течение р. Падь Тодохова). Рудные тела представляют собой залежи сложной морфологии северо-восточного простирания протяженностью до 2200 м при ширине до 400 м, и прослеженные по падению до 400 м. Среднее содержание TiO_2 в них составляет 6,16%, V_2O_5 – 0,086%, Fe_2O_3 – 13,28%, Sc – 0,0045%. С глубиной в руде отмечается увеличение концентраций Cu и Ni, достигающих соответственно 0,1 и 0,3%. Прогнозные ресурсы TiO_2 (категории $P_1 + P_2$) оцениваются в размере 71 млн т., V_2O_5 – 944 тыс. т, Cu – 400 тыс. т, Ni – 450 тыс. т., Au – 22,5 т и платиновые металлы – 22,5 т.

Ариадненское рудопроявление продуцирует аллювиальную россыпь ближнего сноса, характеризующуюся присутствием значительных количеств самородного золота, представленного медь- и ртутьсодержащими разновидностями. Первая из них образует мелкие зерна (до 0,1 мм) изометричных либо комковидных очертаний, примечательных постоянным присутствием примеси (в мас. %) Hg от 3,47 до 4,31. Концентрации Au и Ag колеблются соответственно от 53,72 до 55,37 и от 39,1 до 41,45. Другая разновидность представлена тонкими (менее 0,1 мм) выделениями ярко-желтого цвета с красноватым оттенком. Типоморфной примесью этих золотин средней пробы (850–900‰) можно считать Cu (0,1–3,2 ат.%). Ртуть – и медьсодержащий состав самородного золота указывает на «ультрабазитовый» тип коренного источника. Так, находки самородного золота с высокими концентрациями Cu и Hg неоднократно отмечались в рудо-россыпепроявлениях, тяготеющих к базит-гипербазитам Урала, Приамурья [3,4].

В верхнем течении р. Падь Тодохова размещены антимонит-кварцевые образования Тодоховского рудопоявления. Большей частью они приурочены к экзоконтакту базит-ультрабазитов с углеродсодержащими терригенными породами ($C_{орг}$ достигает 1,5–2 мас. %). Содержание основных полезных компонентов в них варьирует в следующих пределах: Au – до 12,5 г/т, Ag – 500–1820 г/т, Sb – 0,18–23,4 мас. %. Главный рудный минерал – антимонит – на отдельных участках занимает до 50% жильной массы. Состав этого сульфида по сравнению со стехиометрией характеризуется небольшим избытком сурьмы. Реже встречаются арсенопирит, пирит, марказит. Минералы серебра представлены небольшими выделениями самородного серебра (иногда с примесью Au до 2,5 мас. %), аргентитом и миаргиритом. Из других самородных металлов следует отметить Fe, Pb. Среди интерметаллидов высока роль соединений систем Fe-Cr и Fe-Cr-Ni. Самородное золото представлено серебристыми фазами – мелкими зернами (менее 0,25 мм) комковидных очертаний, часто в сростаниях с кварцем, галенитом, теллуридом свинца. Концентрации Ag в золотилах колеблются от 17,2 до 10,3 мас. %, изредка отмечается небольшая примесь Rb (до 0,9 мас. %). Особый интерес вызывают находки частиц металла (рис.3) довольно необычного состава (мас. %), где помимо Au (84,49) и Ag (5,98), присутствуют C (5,54) и N (3,99). Поверхности золотинок покрыты наноразмерной пленкой толщиной до 200–300 нм и состоящей (мас. %) из C (47,1), O (37,1), Si (4,8), Fe (2,8).

Мантийный флюид, судя по исследованиям газовых включений в первичных породообразующих минералах из ультрабазитов Полярного Урала [5], считающихся мантийными протрузиями [6], весьма насыщен разнообразными летучими углеродистыми соединениями (CO, CO₂, CH₄, C₂H₄, C₂H₆ и др), а также свободным водородом и азотом. Водородно-метановый газовый режим способствовал восстановлению самородных металлов с растворенными в них азотом и углеродом. Это практически тот же спектр основных примесей, что и в самородном золоте антимонит-кварцевых жил. Более того, появление углеродистого пленочного покрытия на золотилах, возможно, связано с каталитическими реакциями разложения металлоорганических соединений с образованием твердых фаз на поверхности катализатора, в данном случае, золота [7].

В 3,5 км к северо-востоку от Тодоховского рудопоявления в углеродистых алевролитах (1,0–2,0 мас. % $C_{орг}$) локализовано несколько зон прожилково-вкрапленной минерализации Конторского рудопоявления, сопровождаемых зонами сульфидизации. Сульфидная минерализация в углеродистых сланцах представлена гнездово-вкрапленным и прожилково-вкрапленным типами. Главными минералами являются пирит, халькопирит, сфалерит. В переменных количествах присутствуют монацит, рутил, самородное железо. Основной особенностью сульфидных минералов является присутствие примеси элементов платиновой группы (Pt – до 2,5, Os – 1,2, Ir – 1,2 мас. %). Самородное золото чаще всего представлено мелкими частицами (не более 0,1–0,2 мм) округлой формы. Состав металла характеризуется высокими значениями пробы (до 990 ‰), лишь изредка в них отмечается примесь Sr (1,0–2,0 мас. %). Зоны сульфидизации, имея с прожилково-вкрапленной минерализацией единый источник рудного вещества, являются промежуточным этапом становления последней.

Основное рудное тело, имеющее в плане линзовидную форму длиной до 300 м и шириной до 50 м, по падению прослежено на 300 м. При этом 95–98% рудной массы приходится, включая обломки пород в брекчиях, на долю жильного выполнения. Количество рудных минералов обычно не превышает 2–5%. Содержание золота в руде колеблется, по данным атомно-абсорбционной спектроскопии, от 0,1 до 1,5 г/т, достигая в отдельных случаях 25 г/т. Близкие значения были получены с применением методов нейтронно-активационного анализа. Жильные минералы представлены в основном кварцем, в подчиненных количествах присутствует кальцит. Главным рудным минералом является халькопирит. В переменных количествах присутствуют пирит, сфалерит, галенит; к редким – тетраэдрит, антимонит. Минералы благородных металлов обычно находятся в тесной связи с сульфидом меди, образуя мелкие выделения (не более 0,1–0,3 мм) неправильной формы. Они представлены группами соединений в системах Au-Cu и Au-Ag. Минералы последней представлены самородным серебром с незначительной примесью Au (до 2,1 мас. %). Состав медистого золота колеблется

сравнительно в узких пределах. Так, содержание Au варьирует (мас. %) от 65,6 до 70,9, Cu от 20,0 до 25,4, Ag до 10,5. В отдельных зернах обнаружены примеси U (до 2,3 мас. %) и Zn (до 1,3 мас. %). Пересчет анализов на кристаллохимические формулы показывает, что золото-медистые фазы отвечают купроауриду (CuAu). Сам факт присутствия медистого золота видимо можно рассматривать вслед за [8,9], как свидетельство генетической связи рудных образований с поздними этапами ультрабазитового магматизма.

Одним из ключей к расшифровке природы рудного вещества может послужить изотопный состав серы его сульфидов, а точнее изотопный состав пирита и антимонита. Было установлено [10], что по изотопному составу серы эти сульфиды обладают высокой степенью гомогенности, укладываясь в узкий интервал величин $\delta_{34}\text{S}$ от $-2,0$ до $-4,0\text{‰}$, близких к мантийным меткам. При этом значения $\delta_{34}\text{S}$ пирита Ариадненского рудопроявления варьируется от $-3,2$ до $-3,6\text{‰}$, тогда как для антимонитов Тодоховского рудопроявления характерны значения от $-2,6$ до $-3,0\text{‰}$, а для пиритов Конторского рудопроявления – от $3,1$ до $3,5\text{‰}$. Небольшое отклонение изотопного состава антимонита Тодоховского рудопроявления от $-2,6$ до $-3,0\text{‰}$ обусловлено, скорее всего, изменениями температур кристаллизации либо параметров Eh-pH. Соответственно, $\delta_{34}\text{S}$ сульфидов Ариадненского, Тодоховского и Конторского рудопроявлений рассматриваются нами как результат эволюции единой рудообразующей системы, в формировании которой участвовали глубинные флюиды. Представляется, что благоприятным фактором для локализации оруденения в окологинтрузивной зоне Ариадненского массива является наличие здесь углеродистых черносланцевых пород. Эти осадочные толщи могли играть роль физико-химических барьеров для золотоносных флюидов, продуцируемых интрузией ультрабазитов.

Выполненные исследования указывают на существование элементов зональности в площадном распределении руд: в центре интрузии сосредоточена золото-титановая минерализация (Ариадненское рудопроявление), в ее экзоконтакте – золото-сурьмяные руды (Тодоховское рудопроявление), на удалении к северо-востоку – прожилково-вкрапленные зоны золото-медной минерализации (Конторское рудопроявление). Этот вывод имеет принципиальное значение, поскольку может использоваться при металлогенических построениях, а также оценке перспектив ресурсного потенциала территорий не только юга Дальнего Востока, но и других регионов.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 20–05–00525.

Литература

1. Ханчук А. И., Молчанов В. П., Андросов Д. В. Первые находки самородных золота и платины в ильменитовых россыпях Ариадненской интрузии базит-ультрабазитов (Приморье) // Доклады Российской академии наук. 2020. Т. 492. № 2. С. 39–43.
2. Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России / под ред. А. И. Ханчука. Кн. 1. - Владивосток: Дальнаука, 2006. – 572 с.
3. Мурзин В. В., Малюгин А. А. Типоморфизм золота зоны гипергенеза (на примере Урала). - Свердловск: УНЦ, 1987. - 96 с.
4. Молчанов В. П., Зимин С. С., Гвоздев В. И. Роль апогипербазитов в формировании платиноидно-золотых россыпей Гарьского узла (Среднее Приамурье) // Рудные месторождения континентальных окраин. Владивосток: Дальнаука, 2001. Вып. 2. Т. 2. С. 219–232.
5. Брянцианинова Н.И. Газовые включения в породообразующих силикатах ультрабазитов Полярного Урала, как характеристика флюидного режима мантии / Алмазы и алмазоносность Тимано-Уральского региона. Материалы Всероссийского совещания. Сыктывкар: Геопринт, 2001. С. 88-90.
6. Макеев А.Б. Минералогия альпинотипных ультрабазитов Урала. - СПб.: Наука, 1992. - 197 с.
7. Паддефет Р. Химия золота. - М.: Мир, 1982. 264 с.
8. Спиридонов Э.М., Плетнев П.А. Месторождение медистого золота Золотая гора (о «золото-родинитовой» формации). - М: Науч. Мир, 2002. 220 с.
9. Новгородова М.И. Самородные металлы в гидротермальных рудах. - М.: Наука, 1983, 287 с.
10. Молчанов В.П., Андросов Д.В., Юдаков А.А., Иванников С.И. Разнотипная золотая минерализация ультрабазитов Сихотэ-Алиня (Приморье) // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Северо-Востока России: XII Всероссийская научно-практическая конференция. Якутск [сб. докл.], 2022. С. 204-205.

«НЕВИДИМОЕ» ЗОЛОТО В РУДАХ МЕСТОРОЖДЕНИЯ СУХОЕ (ПРИМОРЬЕ)В.П. Молчанов, Д.В. Андросов, А.А. Карабцов, *vpmol@mail.ru*

Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, 690022, г. Владивосток, Россия

На юге Дальнего Востока России недавно открыто с участием авторов месторождение Сухое, в рудах которого золото находится в рассеянной форме, не выявляемой оптическими методами. Понятие «невидимое» золото включает тонкодисперсное золото, согласно [1], с частицами размером не более 10 мкм, а также коллоидальное, кластерное и химически связанное с сульфидами. В последнее время выяснено [2,3,4], что «невидимая» форма нахождения золота в прожилково-вкрапленных рудах месторождений Урала, Северо-Востока (Воронцовского, Нежданинского, Наталкинского, Майского, Павлика и др.) преимущественно связана с пиритом и арсенопиритом. Целью нашего исследования послужило определение состояния золота в рудных образованиях месторождения Сухое.

Поставленные задачи решались с применением методов электронно-зондовой микроскопии, рентгеновской томографии и нейтронной активации. Составы сульфидных минералов и содержание в них золота определялись с применением рентгеноспектрального электронно-зондового микроанализатора Jeol Superprobe JXA 8100 с системой INCA Energy 350 Oxford Instruments. Образцы для электронно-зондового микроанализа готовили в виде полированных шайб с запрессованными в них эпоксидной смолой минеральными зёрнами. На поверхность образцов в вакууме на установке Jeol напыляли проводящий слой углерода толщиной до 20 нм. Кроме того, определяли концентрации золота в монофракциях арсенопирита методом инструментального нейтронно-активационного анализа согласно методике [5]. Для изучения состояния золота в пирите и арсенопирите применялся рентгеновский микротомограф SkyScan 1272 (аналитик Ушкова М.А.).

Изученный объект расположен в густонаселенном районе юга Приморья (вблизи г. Артема) с развитой инфраструктурой, обеспечивающей использование современных методов добычи и извлечения полезных ископаемых. В геологическом строении месторождения принимают участие осадочные (алевролиты, песчаники, конгломераты), вулканогенно-осадочные (туфы, туфопесчаники) и вулканогенные (липаритовые порфиристы, дациты) породы. Основной тип рудных тел – минерализованные зоны дробления и смятия пород, образовавшиеся после многократной гидротермальной и тектонической проработки. Преобладающие метасоматические изменения – калишпатизация, карбонатизация. Руды представлены метасоматически измененными породами, пронизанными пирит-арсенопирит-полешпатовыми прожилками. Рудные тела преимущественно линзо-пластообразные мощностью несколько десятков метров и протяженностью до 500-800 метров. Текстуры руд – вкрапленные, прожилково-вкрапленные, сетчато-прожилковые, полосчатые, брекчиевидные. К основным жильным минералам относятся кварц, калиевый полевой шпат, карбонаты (кальцит). Количество рудных минералов не превышает 1-2 % жильной массы. Наиболее распространены арсенопирит, пирит и шеелит. Остальные (монацит, галенит, сфалерит, халькопирит, тетраэдрит, акантит, антимонит, бурнонит, редкие земли) обнаруживаются в виде субмикроскопических включений. Главный промышленный компонент руд месторождения – золото (среднее содержание - 3 г/т, в отдельных случаях до 25-40 г/т). Выделения самородного золота крайне редки. Основная масса металла связана с главными рудными минералами – арсенопиритом и пиритом.

Вопрос оценки форм присутствия золота в арсенопирите рассматривался с применением рентгеноспектрального электронно-зондового анализа отдельных зёрен. Было установлено, что в этом сульфиде отсутствуют включения металла, чей размер был бы сопоставим с диаметром области генерации рентгеновского излучения. Тем не менее, арсенопириты (40 образцов)

характеризуются стабильно-высокими концентрациями золота (до 1140 г/т). По данным нейтронно-активационного анализа в монофракциях арсенопирита содержания благородного металла варьируют от 51 до 132 г/т. Следовательно, высокая золотоносность арсенопирита, по данным микрорентгеноспектрального анализа, подтверждается результатами определений нейтронно-активационного метода. Результаты микрозондового анализа свидетельствуют о нестехиометричности состава изученных арсенопиритов – постоянном преобладании серы над мышьяком. При этом, в минералах с наиболее высокими значениями серно-мышьякового отношения отмечаются максимальные концентрации золота. Этот факт коррелятивного поведения трендов содержаний золота и мышьяка подчеркивает высокую вероятность вхождения благородного металла в структуру арсенопирита. Результаты рентгеновской томографии также свидетельствуют в пользу вхождения золота в арсенопирит в химически связанной форме.

Для подтверждения этого вывода были проведены микрорентгеноспектральные исследования зерен пирита (25 образцов), обнаружившие в них достаточно высокие содержания мышьяка (3,66-4,09 ат.%) и золота (до 520 г/т). При этом включений благородного металла более 0,5 мкм в сульфиде также не было обнаружено. Методом рентгеновской томографии установлено равномерное распределение золота в мышьяковистом пирите. Это может свидетельствовать в пользу вхождения золота в структуру минерала.

Таким образом, в результате проведенных исследований установлено, что основными минералами – концентраторами золота в рудах месторождения Сухое являются арсенопирит и мышьяковистый пирит. Полученные материалы указывают на совместную кристаллизацию этих сульфидов и основной массы золота объекта, тем самым свидетельствуя о возможности транспортировки металла в виде комплексных соединений, координированных через серу [6,7].

Работа выполнена в рамках Государственного задания ДВГИ ДВО РАН, номер гос. регистрации 122040800199-8.

Литература

1. Петровская Н.В. Самородное золото. - М.: Наука, 1973. - 350 с.
2. Волков А.В., Генкин А. Д., Гончаров В.И. О формах нахождения золота в рудах месторождений Наталкинское и Майское (Северо-Восток России) // Тихоокеанская геология. 2007. Т. 25. № 6. С. 17-29.
3. Сидорова Н.В., Аристов В. В., Григорьева А.В. «Невидимое» золото в пирите и арсенопирите месторождения Павлик (Северо-Восток России) // Доклады Российской Академии наук. 2020. Т. 495. № 1. С. 26-31.
4. Ковальчук Е.В., Тагиров Б. Р., Викентьев И.В. и др. «Невидимое» золото в синтетических и природных кристаллах арсенопирита (Воронцовское месторождение, Северный Урал) // ГРМ. 2019. Т. 461. № 5. С. 62-63.
5. Ivannikov S.I., Markin N.S., Zheleznov V.V. // Nuclear Technology and Radiation Protection. 2021. P.5.
6. Сорокин В.Н. Об одной из возможной форм переноса золота в гидротермальных растворах // Геохимия. 1973. № 12. С. 1892-1894.
7. Simon G., Kesler S. E., Chryssoulis S. L. Geochemistry and Textures of Gold-bearing Arsenian Pyrite, Twin Creeks, Nevada: Implications for Deposition of Gold in Carlin-type Deposits // Econ. Geol. 1999. V. 94. P. 405–421.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ВОСПРОИЗВЕДЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ЕСТЕСТВЕННОЙ ФЛОТАЦИИ САМОРОДНОГО ЗОЛОТА В РУДНОМ ПРОЦЕССЕ

О.Н. Нерода, Н.С. Остапенко, *neroda67@mail.ru*

Институт геологии и природопользования ДВО РАН

Наши исследования золоторудных месторождений Приамурья и анализ опубликованных данных по многим другим золоторудным месторождениям золото-кварцевой группы формаций различных регионов мира позволили прийти к заключению, что богатые рудные столбы и бананцы чаще всего приурочены к средним и верхним уровням жильных тел [2, 3]. Бананцы чаще встречаются в жильных телах эпitherмальных месторождений [1]. Встречаются они и в мезотермальных месторождениях. В том числе бананцы присутствуют и на штокверковом золоторудном месторождении Пионер в Приамурье (см. второй доклад авторов в этом сборнике)

Ещё в 1989 году нами [2] было дано обоснование возможности участия в формировании рудных тел механизма естественной газовой флотации зарождений золота. К такому выводу мы пришли в связи с отмеченной [5] газофильностью поверхности золотин, существенно газовым составом флюидных включений в самородном золоте [4, 5], наличием признаков кипения, гетерогенизации и дегазации флюида на каждом золото-кварцевом месторождении, частыми наблюдениями обособлений индивидов золота от других минералов в рудах [2, 4], а также практически одновременным выделением при кипении и пересыщении флюида пузырьков газовой фазы (CO_2 , H_2S , HCl и др.) и появлением нанозарождений золота в формах коллоидной и кристаллической фаз [6, 7]. Газофильность золота позволяет предполагать, что в рудном процессе возможно образование ассоциатов состава « $\text{Au}_{\text{кр}}$ + пузырьки газа» в раскрывающихся на продуктивных стадиях полостях и их совместный перенос подъемной силой пузырьков газа от мест их зарождения на более высокие уровни формирующихся жильных тел, залегающих среди малопроницаемых пород, а также в трещинно-поровом пространстве среди проницаемых тектонитов в штокверковых месторождениях (например, как на месторождении Пионер).

В проведенных экспериментах мы протестировали способность самородного золота и сопутствующих ему в рудах некоторых сульфидных минералов образовывать ассоциаты с выделяющимися пузырьками газа и перемещаться совместно с ними от мест зарождения на более высокие горизонты месторождений. Для этого были подготовлены мелкие ($\leq 0,25$ мм) фракции золота, галенита и пирита, наиболее часто встречающиеся в богатых рудах жил месторождения Токур, и присутствующие в штокверковых рудах месторождения Пионер.

Проведенное ранее [4] исследование флюидов из включений в самородном золоте и в сопутствующем кварце методами водных вытяжек и газовой хроматографии показали качественное сходство их составов. В них присутствуют одни и те же газовые и солевые компоненты, но наблюдаются существенные количественные различия (табл. 1). Флюидные включения в самородном золоте по соотношению в них массовых долей газовой и водной фаз, в среднем, в 13 раз богаче газовой фазой, нежели флюидные включения в сопутствующем кварце продуктивной стадии. Доминирующий компонент этой фазы – CO_2 . При гетерогенизации флюида и его пересыщении многими компонентами, в условиях резких снижениях давления, растворенный в нем CO_2 выделяется в газовую фазу. Следовательно, CO_2 совместно с другими выделяющимися газами, может активно участвовать в переносе возникающих в жидкой фазе флюида нанозарождений самородного золота на более высокие уровни раскрывшихся полостей.

Ориентируясь на это, в экспериментах мы использовали пузырьки газа CO_2 , выделяющиеся из пересыщенного им водного раствора при постоянной температуре 20°C и при подогреве раствора на песчаной бане до 80°C , для наблюдения возможных эффектов флотации гидрофобных минералов.

Таблица 1. Средний состав флюида во включениях в минералах месторождения Токур (мг/кг минерала), по [4]

Минерал	Количество анализов	Соли	Газовая фаза	Вода	Общее количество флюида	Газы вода
Кварц	9	$\frac{49,7 - 131,6}{80,7 (11,2)}$	$\frac{19,3 - 91,8}{43,8 (6,1)}$	$\frac{62,6 - 1336,3}{594,0 (82,7)}$	$\frac{215,4 - 1488,0}{718,5 (100)}$	0,073
Сульфиды (пирит и арсенопирит)	4	$\frac{20,3 - 47,5}{32,3 (18,6)}$	$\frac{27,5 - 48,9}{35,9 (20,7)}$	$\frac{53,5 - 138,7}{105,2 (60,7)}$	$\frac{128,7 - 213,7}{173,4 (100)}$	0,341
Самородное золото	7	$\frac{37,3 - 310,9}{109,9 (75,1)}$	$\frac{11,4 - 25,3}{17,0 (11,7)}$	$\frac{7,9 - 32,1}{18,4 (12,7)}$	$\frac{74,6 - 336,7}{145,3 (100)}$	0,924
Коэффициент обогащения включений в золоте относительно кварца						13,2
Примечание: в числителе – пределы вариаций, в знаменателе – среднее, а в скобках – процентная доля компонентов. Анализы водных вытяжек и газовая хроматография минералов выполнены И.Д. Зайкиным, С.А. Шахраем по стандартным методикам в АмурКНИИ ДВО РАН.						

Суть и результаты эксперимента. В экспериментах использовали стандартные тонкостенные лабораторные стаканы емкостью 250 мл, высотой 12 см. На дно стакана помещали навеску зерен минерала малой крупности – $-0,25+0,12$ мм и мельче. Емкость заполняли водой, пересыщенной CO_2 . При постоянной температуре происходила активная гетерогенизация и дегазация жидкости путем выделения и подъема пузырьков газа к поверхности раствора и ухода его в атмосферу. Аналогичное происходило и при нагреве раствора до 80°C .

В эксперименте с самородным золотом, сразу после заливания раствора, в емкости появляются и активно всплывают мелкие пузырьки CO_2 , а через несколько минут к ним добавляются и так же устремляются к поверхности ассоциаты «газ-золото». У поверхности, по периферии емкости, они располагаются сближено (рис. 1), а в центральной ее части ассоциаты в течение 10–15 минут эксперимента образуют плотную группу размером до 4 x 6 мм.

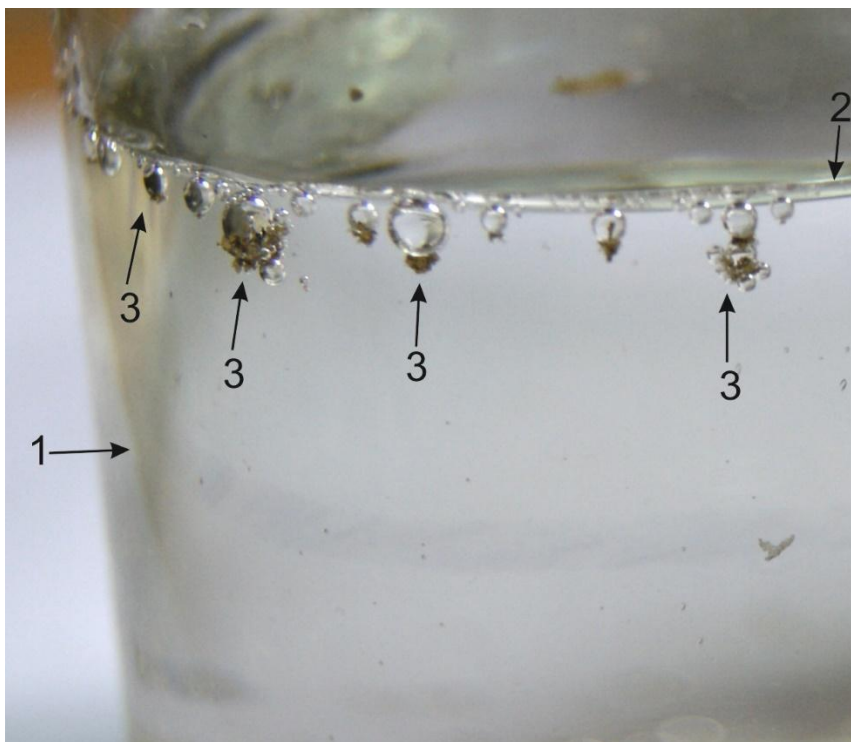


Рис. 1. Результат лабораторного эксперимента № 1 по естественной газовой флотации частичек золота: ассоциаты « $\text{Au}_{\text{кр}}$ + пузырьки CO_2 » у поверхности лабораторного сосуда при 20°C

1 – стеклянный сосуд с насыщенной углекислым газом водой; 2 – мениск поверхности водного слоя; 3 – единичные зерна золота и их скопления, окруженные пузырьками CO_2 .

Пузырьки газа ассоциатов под нагрузкой минерала, достигая поверхности, не лопаются. Прочность этой группы высокая. Попытки дезинтегрировать и погрузить зерна золота на дно ёмкости не всегда дают положительный эффект. В соответствии с Hough R.H. с коллегами [6], гидрофобность и реакционная активность микро- и наночастиц золота, вследствие более высокой их удельной поверхности, многократно выше, чем у макрочастиц. Проведены аналогичные опыты также с галенитом и пиритом. Галенит довольно быстро образует аналогичные ассоциаты «газ-минерал», которые быстро всплывают к поверхности водного слоя (рис. 2), но несколько менее интенсивно нежели самородное золото. Обычно всплывают более мелкие частицы галенита. Пирит, в отличие от самородного золота и галенита, не проявляет активности в образовании ассоциатов, хотя пузырьки CO_2 выделяются столь же активно. Этот минерал не флотируется.

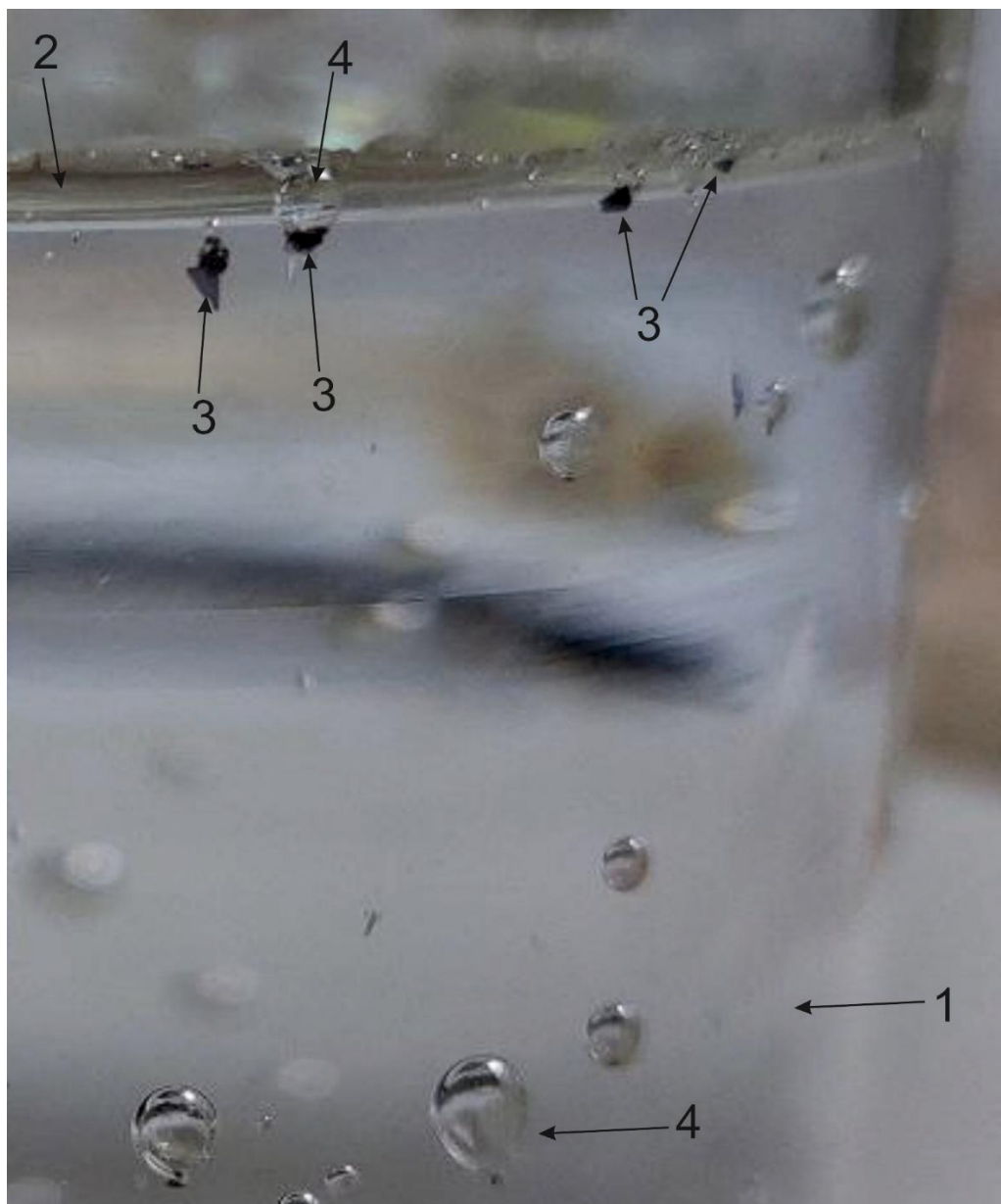


Рис. 2. Результат лабораторного эксперимента № 2 по естественной газовой флотации частичек галенита: ассоциаты «галенит + пузырек CO_2 » у поверхности лабораторного сосуда. Температура воды $+20^\circ\text{C}$
 1 – стеклянный сосуд с насыщенной углекислым газом водой; 2 – мениск поверхности водного слоя; 3 – частицы галенита, окруженные пузырьками CO_2 ; 4 – пузырьки CO_2 .

Таким образом, проведенные эксперименты показали, что способность к естественной газовой флотации нанозародков золота наиболее высокая. У галенита (рис. 2) она несколько менее интенсивная, а для пирита она не характерна. Эти наблюдения хорошо коррелируют с наблюдениями, сделанными нами на природных образцах руд месторождения Пионер. Видимое самородное золото обычно образует кучные минеральные обособления над прожилками кварца в пористом окварцованном цементе брекчий.

В жильных телах месторождений Токур, Ворошиловское, Инокентьевское и др. самородное золото накапливается обособленно от сульфидов на средних и верхних уровнях. Но нередко золото образует сростания с галенитом, в интерстициях мелкозернистого кварца продуктивной золото-кварцевой стадии или ассоциирует с ним, выделяясь несколько раньше.

Литература

1. Волков А.В., Сидоров А.А. Экономическое значение эпitherмальных золото-серебряных месторождений // Вестник Российской академии наук. 2013. Т. 83. № 8. С. 720–730.
2. Остапенко Н.С. К обоснованию гидротермально-флотационной модели формирования золоторудных столбов в жилах выполнения // История исследования золотоносности Приамурья. Благовещенск: Амурское отд. ВМО, 1989. С. 62–64.
3. Остапенко Н.С. Нерода О.Н. Флюидное давление и гидроразрыв пород при гидротермальном рудообразовании (на примере золоторудных месторождений) // Тихоокеанская геология. 2007. Т. 26. № 3. С. 89–105.
4. Остапенко Н.С. О естественной флотации гидрофобных минералов в гидротермальном рудообразовании и её следствиях (на примере месторождений золота) // Руды и металлы. 2016. № 1. С. 78–86.
5. Петровская Н.В., Элисон М.М., Николаева Л.А. Состав и условия образования газовых включений в самородном золоте // Гидротермальные процессы: I Международный геохимический конгресс, 20–25 июля 1971, Москва: [сб. докл]. Москва: Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН, Москва, 1973, Т. 2. С. 441–451.
6. Hough R.M., Noble R.R.P., Reich M. Natural gold nanoparticles // Ore Geology review. 2011. Vol 42. P. 55–61.
7. Saunders J.A. Colloidal transport of gold and silica in epithermal precious-metal systems: Evidence from the Sleeper deposit, Nevada // Geology. 1990. Vol. 18/ P. 757–760.

ПРИЗНАКИ УЧАСТИЯ ТВЕРДОФАЗНОЙ МИГРАЦИИ ЗОЛОТА ПРИ ФОРМИРОВАНИИ РУДНЫХ СТОЛБОВ И БОНАНЦЕВ НА МЕСТОРОЖДЕНИЯХ ЗОЛОТА ПРИАМУРЬЯ

Н.С. Остапенко, О.Н. Нерода, *ostapenko_ns@mail.ru*

Институт геологии и природопользования ДВО РАН

В основу доклада положено сопоставление условий формирования золоторудных месторождений двух морфологических типов – кварцево-жильного месторождения Токур и штокверкового месторождения Пионер.

На месторождении Токур жильные тела залегают в висячем боку пологозалегающего рудоконтролирующего Главного разлома [5]. Приурочены они к оперяющим его выдержанным сколовым трещинам, протяженным по падению и простираию. Залегают жилы в толще переслаивания песчаников, алевролитов и аргиллитов верхнепалеозойского возраста, под экранирующей толщей аргиллитов и флишOIDов экимчанской свиты. Кондиционные руды сосредоточены в кварцевых жилах и крупных их апофизах. Рудные тела имеют четкие геологические границы. Мощность жильных тел варьирует от 10–20 см до 0,5–0,8 м в раздувах, редко до 1–2 м.

Нами [2] было установлена повторяющаяся в различных жильных телах обратная зависимость между такими их характеристиками, как мощность жил и содержания в рудах золота (рис. 1). Повышенная мощность жильных тел характерна, в большей мере, для глубоких горизонтов. К поверхности она значительно снижается. А более высокие содержания золота, в том числе «ураганные» до 300–500 г/т, чаще встречаются на средних и верхних горизонтах жильных тел.

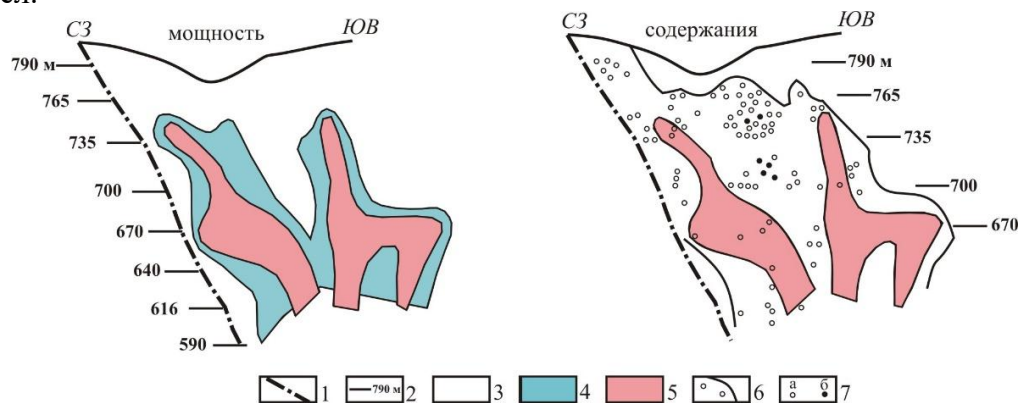


Рис. 1. Структура мощности западного фланга жилы Первая и распределение золота относительно участков максимальной мощности (месторождение Токур, вертикальная проекция)

1 – сброс; 2 – разведочные горизонты; 3-5 – мощности жилы (в см): 5-29 (3), 30-59 (4), 60-80 (5); содержания золота: 6 – контур участка жилы с содержаниями более 10 г/т; 7 – пробы с содержаниями золота 50-100 г/т (а) и 101-300 и более г/т (б); 8 – контур максимальной мощности

Малосульфидная (сульфидов в рудах 1–2%) золото-кварцевая минерализация пирит-арсенопиритового типа. Жильные тела месторождения формировались в 4 стадии. Для них характерно телескопирование минеральных парагенезисов стадий. Пирит-арсенопиритовая стадия сопровождалась отложением дисперсного золота. Основной продуктивной стадией является золото-кварцевая с гнездовым распределением самородного золота в приальбандовых частях жил.

Месторождение Пионер приурочено к западному флангу Умлекано-Огоджинского вулканоплутонического пояса и размещается в Тыгда-Улунгинском золотоносном узле

Приамурской золотоносной провинции. Рудное поле размещается в юго-восточном эндо- и экзоконтактах Ольгинского гранитоидного массива верхнеамурского магматического комплекса раннемелового возраста, прорывающего терригенные отложения Осежинского краевого прогиба, представленные толщей песчаников аякской свиты [1]. В геодинамическом плане оно сформировалось в зоне коллизии Евро-Азиатской и Амурской континентальных плит и последующей тектоно-магматической активизации (ТМА) в раннемеловое время. На коллизионном этапе на этой территории сформировалась серия крутозалегающих ортогональных разломов северо-восточного и северо-западного простирания, обусловивших внедрение в нижнем мелу постколлизионного Ольгинского гранитоидного массива. На последующем этапе ТМА означенных разломов, в них внедрились дайки и более сложные тела диорит-порфириров буриндинского комплекса, а также сформировались рудоносные зоны золоторудного месторождения Пионер.

Геологическое строение рудного поля и месторождения Пионер охарактеризовано Власовым Н.Г. с коллегами [1]. В пределах рудного поля установлено около десятка крутозалегающих рудоконтролирующих тектонических зон. Наиболее детально разведаны 4 рудоносные зоны центральной части рудного поля – Бахмут, Промежуточная, Андреевская (все северо-восточного простирания, из них две первые северо-западного падения, третья – юго-восточного) и зона Южная меридионального простирания и западного падения. Месторождение сформировалось в 4 стадии – предрудных метасоматитов, ранних сульфидов (пирит, пирротин, арсенопирит, с дисперсным золотом), золото-кварцевую и послерудную кварц-карбонатную. Сульфидов в рудах 1–5%, местами до 8%.

Особенности формирования золоторудной минерализации этого месторождения рассмотрим на материалах по зоне Бахмут, залегающей в эндоконтакте массива диоритов К₁ (рис. 2).

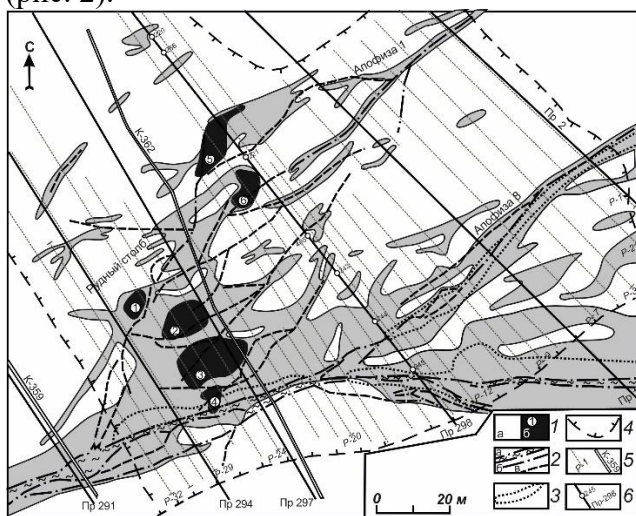


Рис. 2. Центральный фрагмент рудоносной зоны Бахмут месторождения Пионер.

1 – рудоносность: а – бедные и рядовые руды, б – бананцы и их номера; 2 – разломы: а – рудоконтролирующий разлом Бахмут, б – разломы меньшего ранга, в – маломощные тектонические швы; 3 – зоны густой сети прожилков кварца в штокверке (до 100 на 1 п м) и линзы брекчий на кварцевом цементе; 4 – контур разведочной траншеи; 5 – линии расчисток и их номера (Р-1 – Р-32), канавы (К); 6 – профили бурения скважин и их номера.

1. В рудоконтролирующем разломе Бахмут на начальном отрезке изменения его простирания с северо-восточного на широтное, при сдвиговом перемещении его крыльев, мощность милонитов увеличена до 4–5 м. В его висячем крыле появились дополнительные оперяющие нарушения, линзы брекчирования, расширенный кварцевый штокверк. На этом участке разлома возник доминирующий канал инфильтрации металлоносного флюида и сформировались две рудоносные апофизы и рудный столб с бананцами. Интересно, что поинтервальное опробование мощности разлома при разгрузке и пробирные анализы отобранных бороздовых проб показали во всех пересечениях нарастание содержаний золота в пробах от лежачего бока к висячему в 2–5 раз.

2. Все выделенные нами бананцы сосредоточены в висячем крыле этого рудоконтролирующего разлома на различных от него расстояниях, а бананц № 4 непосредственно сопрягается с ним. В лежащем крыле разлома нет ни одного бананца, также

нет рудных тел, а оперяющие его тектонические швы не имеют повышенных содержаний золота.

Выделения самородного золота и его скопления в образцах богатых руд из бонанцев распределяются с определенной закономерностью. Отметим следующие наблюдения этой закономерности в трех изученных приполированных срезах образцов, а также в аншлифах и шлифах. В срезе штуфа-1 площадью 68,7 см² макро- и микроскопически наблюдается около тысячи золотинок размерами от 0,01 до 1,5 мм (рис. 3)

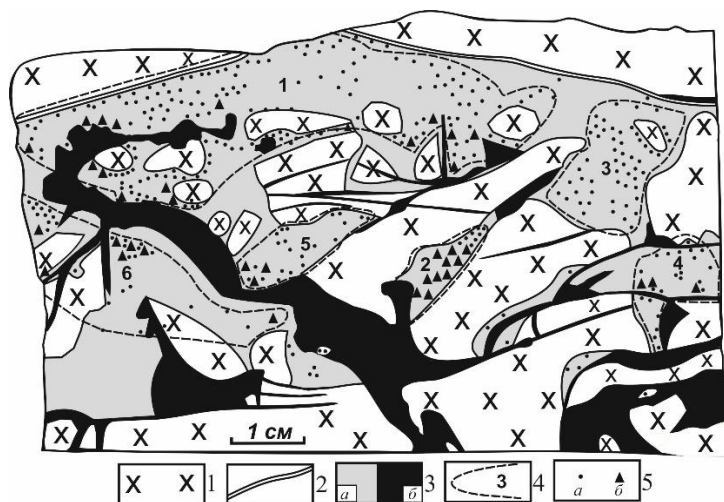


Рис. 3. Зарисовка штуфа-1. Распределение выделений видимого самородного золота на приполированном срезе штуфа из бонанца рудного столба зоны Бахмут месторождения Пионер.

1 – диориты массива и в обломках брекчий; 2 – тектонический шов с прилегающим милонитом мощностью 3–8 мм; 3 – окварцованный цемент брекчий (а) и жильный мелкозернистый и тонкозернистый массивный синрудный кварц, выполняющий прожилки штокверка (б); 4 – границы и номера полей сосредоточения индивидов видимого самородного золота в цементе брекчий и милонитах тектонического шва; 5 – размеры видимого самородного золота: 0,01–0,3 мм (а) и 0,7–2,0 мм (б).

1. Поля сгущения золотинок в штуфе-1 (их выделено 6) располагаются, в основном, со стороны висячего бока скопления кварцевых тел, выполняющих взаимосвязанные полости раскрытия трещин в брекчированных диоритах.

2. Скопления золотинок располагаются в цементе брекчий диоритов под их обломками. В монолитных обломках золотинок не обнаружены.

3. Поля самородных золотинок в цементе пространственно ассоциируют с раздувами суммарной полости раскрытия, включающей прожилки их апофизы и гнезда отложенного гидротермального кварца.

4. В кварцевых прожилках, заполняющих полости раскрытия трещин, наблюдались единичные мельчайшие золотины.

5. В образце руды, по мере удаления вверх от эпицентра интегральной полости раскрытия, вместившей кварцевые тела, до экранирующего тектонического шва, наблюдается отчетливая тенденция снижения размеров золотинок от 1–1,5 мм до менее 0,1 мм.

6. В этом образце отчетливо проявлена положительная роль экранирования в накоплении золотинок – швом милонитов, подошвенными частями монолитных обломков диоритов, поверхностями пор в окварцованном цементе. В штуфах 2 и 3 из богатых золотом руд этого рудного столба распределение индивидов самородного золота вполне аналогичное.

Эти наблюдения позволяют нам сделать вывод о участии в переносе золота наряду с растворимой формой, в виде хлоридных и сульфидных комплексов, также и в твердофазной форме. Последняя возникала при резких снижениях давления флюида в рудоформирующей гидротермальной системе на участках тектонического или гидравлического раскрытия полостей по системе уже существовавших к тому времени трещин. Приращение свободного объема полостей и, как следствие этого, снижение давления флюида в них, сопровождается системой взаимосвязанных процессов – кипением флюида, его гетерогенизацией, пересыщением многими компонентами, приводящими к дегазации, ощелачиванию и активному минералообразованию. Растворимые комплексы золота при этом теряют устойчивость, распадаются. Возникают нанозарождения самородного золота. Одновременное выделение из флюида пузырьков газа и частиц самородного золота, обладающего феноменальным свойством поверхности частиц – газофильностью [4], приводит к образованию ассоциатов ($Au_{кр} +$ пузырьки газа), способных к всплыванию. Такие ассоциаты, опережая продвижение флюида,

могли автономно всплывать в нем вверх на значительные расстояния в объеме взаимосвязанных полостей раскрытия трещин и за их пределы в проницаемые тектониты. Именно этим мы объясняем наблюдаемое накопление золота выше мест их зарождения под различного рода микро- и макроэкранами, соответственно, в сериях взаимосвязанных пор под обломками пород в цементе брекчий, под малопроницаемыми монолитными породами и тектоническими швами.

Изложенные выше результаты наблюдений однозначно свидетельствуют о реальности автономной, относительно кварца, твердофазной миграции (естественной газовой флотации) самородного золота в форме ассоциатов с газовой фазой, при формировании богатых руд и бонанцев на основной продуктивной стадии. Можно констатировать, что сходство формирования аномально богатых руд золота в штокверковом и жильном типах месторождений золота состоит в том, что местами формирования нанозарождений золота и их ассоциатов с газовой фазой для тех и других являлись эпицентры максимумов раскрытия интегральных трещинных полостей в штокверках и раздувы в жильных полостях. Естественная газовая флотация ассоциатов золота на месторождениях обоих типов осуществлялась в системах взаимосвязанных полостей по одной и той же причине – вследствие резких падений в них давления флюида, его дегазации и пересыщения золотом, газами и другими компонентами. Различия же в локализации самородного золота в этих разнотипных по морфологии рудных телах месторождений состоит в следующем. На жильном месторождении Токур накопление самородного золота осуществлялось в пределах основных крупных жилловмещающих полостей на их средних и верхних уровнях. В штокверковых рудах месторождения Пионер, залегающих в более флюидопроницаемых телах тектонитов, в полостях мелких трещин появлялись нанозарождения золота, их ассоциаты всплывали и накапливались выше мест их зарождения, в основном, за пределами системы полостей, затем заполненных прожилками кварца – в пористом цементе брекчий с их висячего бока, под макро- и микроэкранами.

Таким образом, крайне неравномерное распределение золота в рудных столбах и в бонанцах с «ураганными» его содержаниями предопределено неравномерной проницаемостью вмещающей среды и размещениями экранирующих элементов в объемах тектонитов вблизи основных каналов инфильтрации флюидов. Главным признаком отмеченной твердофазной миграции самородного золота при формировании богатых рудных столбов и бонанцев в обоих месторождениях является отмеченное вертикальное смещение накоплений самородного золота относительно максимумов отложения сопутствующего кварца продуктивной стадии. Этот вывод подкрепляется различием состава флюидов во включениях в самородном золоте и кварце. По результатам газовой хроматографии, состав газовых компонентов из включений флюидов в самородном золоте, в среднем, в 13 раз богаче газами, нежели во флюидных включениях в кварцах продуктивной стадии [3].

Литература

1. Власов Н.Г., Дмитренко В.С., Капанин В.П. и др. Приамурская золоторудная провинция // Золоторудные месторождения России / Ред. М.М. Константинов. М.: «Акварель», 2010. С. 195–199.
2. Остапенко Н.С. К обоснованию гидротермальной модели формирования золоторудных столбов в жилах выполнения // История исследования золотоносности Приамурья. Благовещенск: Амурское отд. ВМО, 1989. С. 62–64.
3. Остапенко Н.С. О естественной флотации гидрофобных минералов в гидротермальном рудообразовании и её следствиях (на примере месторождений золота) // Руды и металлы. 2016. № 1. С. 78–86.
4. Петровская Н.В., Элисон М.М., Николаева Л.А. Состав и условия образования газовых включений в самородном золоте // Гидротермальные процессы: I Международный геохимический конгресс, 20–25 июля 1971, Москва: [сб. докл.]. Москва: Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН, Москва, 1973, Т. 2. С. 441–451.
5. Эйриш Л.В., Остапенко Н.С., Моисеенко В.Г. Золоторудное месторождение Токур (Дальний Восток, Россия) // Геология рудных месторождений. 2002. Т. 44. № 1. С. 42–58.

КОМПЛЕКСНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ИЗОМОРФНЫХ ЗАМЕЩЕНИЙ В СТРУКТУРЕ ЯРОЗИТА, ОБРАЗОВАННОГО ПРИ АВТОКЛАВНОМ ОКИСЛЕНИИ УПОРНЫХ РУД ЗОЛОТА

В.И. Рождествина, *veronika@ascnet.ru*, А.С. Завалюев*, *zavaluev-a@pokrmine.ru*,
Н.В. Мудровская, *fedorova@ascnet.ru*

Институт геологии и природопользования ДВО РАН, г. Благовещенск

*Покровский автоклавно-гидрометаллургический комплекс АО «Покровский рудник»

В работе представлены результаты исследований твердых растворов ярозита, образующихся при автоклавном окислении флотационных концентратов месторождения золота Маломыр (Россия). Тонкодисперсное золото в упорных рудах месторождения Маломыр находится в тесной связи с пиритом (FeS_2) и арсенопиритом (FeAsS). Для обеспечения доступности золота при цианировании, сульфиды окисляют и растворяют в автоклавах высокого давления. Окисление под давлением в автоклаве упорных руд золота, содержащих пирит (FeS_2) и арсенопирит (FeAsS), рассматривается как аналог естественного кислотно-сульфатного изменения андезитовых пород в процессе эпitherмальной минерализации [1]. Сульфидное окисление в автоклаве при 225°C вызывает подкисление суспензии руды до $\text{pH} < 2$. Температура, давление и катионно-анионное соотношение в реакционной смеси способствуют образованию минералов алунит – ярозитового ряда [2]. В автоклаве ярозит и другие минералы, отлагающиеся на рабочих поверхностях, отражают прогрессирующее окисление и изменение упорных руд, дают представление о происходящих геохимических процессах, активизирующих образование минералов. Ярозит функционирует как «коллектор» тяжелых металлов и может включать в кристаллическую структуру значительные концентрации других катионов [3]. Его растворимость контролируется климатическими условиями [4], и зависит от замещающих элементов в кристаллической структуре, поэтому специфический минеральный состав представляет интерес при моделировании устойчивости шахтных и гидрометаллургических отходов.

Нами проведены исследования особенностей состава настывей ярозита, отлагающегося на различных рабочих поверхностях автоклава, и характера вхождения элементов, образующих изоморфные замещения в его кристаллической структуре. Образование ярозита связано с условиями процесса окисления и минеральным составом концентрата. Окисление сульфидов и арсенидов железа обеспечивает высокие концентрации сульфат-иона и, как следствие, высокую кислотность растворов > 20 г/л H_2SO_4 , которые содержат так же катионы, образованные в результате разложения пороодообразующих минералов.

Для исследований использовалась приборная база аналитического центра минералого-геохимических исследований ИГиП ДВО РАН: растровый электронный микроскоп SIGMA (Carl Zeiss) с аналитической системой рентгеноспектрального микроанализа X-Max INCA Energy (Oxford Instrument) и дисперсионный конфокальный микроскоп комбинационного рассеяния модели DXR Smart Raman Microscope (Thermo Fischer Scientific). Спектры комбинационного рассеяния получены при комнатной температуре с помощью конфокального микроскопа комбинационного рассеяния с CCD-детектором с Пельтье охлаждением и использованием лазеров 780 nm со спектральным диапазоном от 40 до 3425 cm^{-1} . Размер пятна (области генерации) $\sim 1.6\text{ }\mu\text{m}$, разрешение $2.4\text{--}4.4\text{ cm}^{-1}$. Исследования проведены в режиме сбора данных по точкам и методом картирования по площади и профилям. Спектральные манипуляции состояли из корректировки базовой линии и разделения пиков (функция Voigt), выполнялись с использованием пакета программного обеспечения OMNIC-9 (Termo Scientific).

Ярозитная группа минералов относится к структурному типу алунита и имеет общую формулу $\text{AB}_3(\text{TO}_4)_2(\text{OH})_6$. В узлах А, В и Т внутри группы имеется обширный ряд твердых

растворов, где в позиции **A** могут находиться H_3O^+ , Na^+ , K^+ , Rb^+ , Ag^+ , Tl^+ , NH_4^+ , $\frac{1}{2}\text{Ca}^{2+}$ или $\frac{1}{2}\text{Pb}^{2+}$; в позиции **B** – Fe^{3+} или Al^{3+} ; в позиции TO_4 – SO_4^{2-} , PO_4^{3-} , или AsO_4^{3-} [5]. Пространственная группа ярозита $R\bar{3}m$ (C_{53v}). Основу кристаллической решетки ярозита составляют TO_4 -тетраэдры и сильно искаженные $\text{B}(\text{O},\text{OH})_6$ -октаэдры, связанные вершинами в трехчленные и шестичленные кольца, образующие псевдослои, параллельные плоскости (001) и соответственно перпендикулярные оси c [4]. Ионные радиусы для октаэдрически скоординированного Al^{3+} – 0.535 Å, для высокоспинового Fe^{3+} – 0.645 Å [6], а валентные электроны Al^{3+} находятся на p -орбиталях, а Fe^{3+} – на d -орбиталях. Замещения в позиции **B** в основном влияют на параметр решетки a , увеличивающегося по мере увеличения замещения Fe на Al [4]. OH-группы, находятся в четырех «экваториальных» вершинах октаэдров, каждая из них является общей для двух соседних октаэдров. В оставшихся двух вершинах октаэдров располагаются атомы кислорода. Атомы S фиксируются в центрах SO_4 -тетраэдров, один кислород O(1) тетраэдра связан только с S, а остальные три атома O(2) связывают тетраэдр SO_4 с октаэдрами трехчленного кольца. Расстояние S–O(1) несколько меньше, чем S–O(2). Тетраэдры SO_4 располагаются по обеим сторонам октаэдрического слоя, направляя свободные вершинки вверх и вниз попеременно. Между слоями в больших 12-координированных полиэдрах, образованных шестью атомами кислорода O(2) и шестью гидроксильными группами, располагаются крупные ионы K^+ и Na^+ , имеющие радиусы 1.64 и 1.39 Å [6] соответственно. При заполнении позиции **A** двухвалентными атомами, такими как Pb^{2+} в плумбумярозите, в соответствии с условием сохранения баланса заряда, половина позиций остаются вакантными. Упорядочение между ионами Pb^{2+} и вакансиями дает удвоение ячейки по оси $c \approx 33$ Å [7-9]. В минералах ярозитовой структуры наблюдаются многие другие элементные и вакантные замещения. Характер кристаллической структуры ярозита и возможность изоморфного замещения обуславливают разнообразные кристаллохимические особенности и специфические свойства изоморфных аналогов ярозита.

Все пробы, отобранные в различных частях настывей, дают четко определенную рентгеновскую дифракционную картину ярозита. Пики, характерные для Pb-ярозита, отсутствуют. Настыви имеют композиционную зональность, наблюдаемую методами оптической и электронной микроскопии (рис.1). Зональность связана с взаимным колебанием содержаний химических элементов в составе ярозита. Обобщенная кристаллохимическая формула ярозита по данным рентгеноспектрального микроанализа представляется в виде $(\text{K}_{0.74-0.98}\text{Na}_{0-0.11}\text{Pb}_{0-0.16})(\text{Fe}_{2.55-3.0}\text{Al}_{0-0.47})(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$. Расчетные формулы для анализа ярозита, предполагающие 2.00 сульфат-ионов, приводят к дефициту в позициях моновалентных и трехвалентных элементов, который для исследуемых кристаллических зон настывей ярозита составляет 0.02 – 0.12 формульные единицы. Этот тип дефицита связывают с протонированием гидроксильных групп [10].

Спектроскопия комбинационного рассеяния является структурно-чувствительным методом исследования. С ее помощью можно наблюдать структурное разупорядочение и фазовые преобразования. Для таких структур как ярозит можно рассматривать колебания SO_4^{2-} ионов как внутренние: в трансляционных колебаниях будут участвовать SO_4^{2-} , катионы Fe(Al), K(Na,Pb) и OH-группы; либрационные колебания будут совершать ионы SO_4^{2-} и OH^+ . Сульфатная группа в минералах группы алуниита имеет четыре основные колебательные моды: одну невырожденную (ν_1), одну дважды вырожденную (ν_2) и две вырожденные (ν_3 и ν_4). В соответствии с литературными данными спектр комбинационного рассеяния ярозита состоит из интенсивной полосы ν_1 , которая соответствует симметричному растяжению тетраэдров SO_4 при 1005 см^{-1} . Другие характерные полосы, ν_2 , ν_3 и ν_4 , были обнаружены при: ν_2 - 452 см^{-1} и 431 см^{-1} ; ν_3 - 1157 см^{-1} , 1101 см^{-1} и 1020 см^{-1} ; ν_4 - 623 см^{-1} [11].

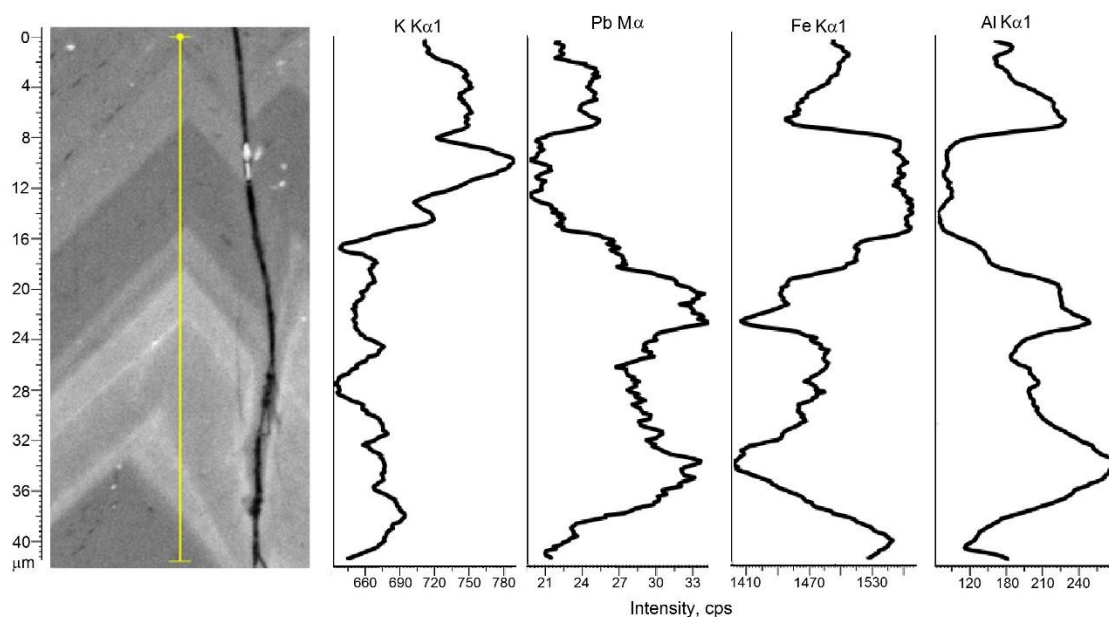


Рис.1. Композиционная зональность настелей ярозита и линейные энергодисперсионные профили распределения асинхронно изменяющихся концентраций калий – свинец и железо – алюминий

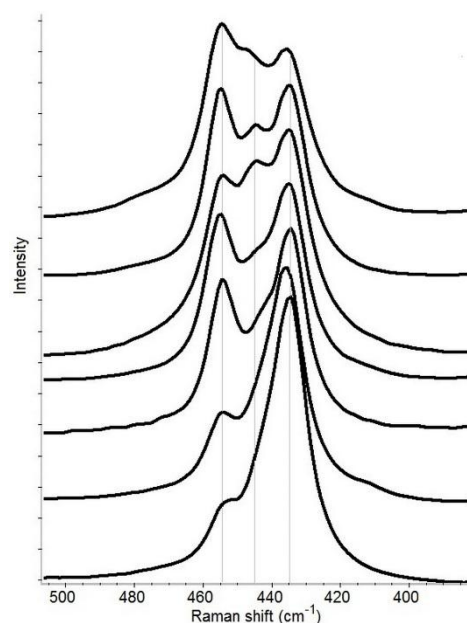


Рис.2. Тонкая структура спектров комбинационного рассеяния ярозита настелей в различных зонах композиционной зональности в диапазоне 380 – 500 см⁻¹

На КР-спектре ярозита настели выделяются узкие полосы, соответствующие SO_4 -колебаниям, и группа узких интенсивных полос, соответствующих решеточным колебаниям. Полоса в области $\nu_2(\text{SO}_4)=435 \text{ см}^{-1}$ достаточно интенсивная; регистрируются полосы $\nu_1(\text{SO}_4) - 1008 \text{ см}^{-1}$ и $\nu_3(\text{SO}_4) - 1104$ и 1156 см^{-1} ; полоса 1156 см^{-1} несколько уширена, возможно, из-за совпадения с полосой решеточных колебаний. Колебание из группы $\nu_4(\text{SO}_4)$ регистрируется в области 625 см^{-1} . Особенностью всех КР-спектров является наиболее интенсивные колебания решеточного типа в группах Fe-O в области коротких длин волн, полосы около 225 см^{-1} , 140.5 см^{-1} , 302.5 см^{-1} , 357 см^{-1} . Наиболее интенсивная полоса ν_1 , соответствующая симметричному растяжению тетраэдров SO_4 при 1008 см^{-1} , имеет интенсивность порядка 50 отн. %. Интенсивности других характерных полос ν_2 , ν_3 и ν_4 соответственно ниже, за исключение полосы ν_3 при 1105 см^{-1} в точке 4, где интенсивность повышается до 68 отн. %.

Для исследуемых образцов наиболее показательной является группа полос, находящаяся в спектральном диапазоне $400 - 490 \text{ см}^{-1}$ (рис.2). Для синтетического К-ярозита в данной области в основном проявляется одна сильная полоса $\nu_2(\text{SO}_4) \approx 435 \text{ см}^{-1}$, с незначительным проявлением плеча в области 454 см^{-1} , увеличение интенсивности данного пика объясняется деформационными дефектами, связанными с изоморфными замещениями или отсутствием атомов в структурных позициях [11]. В виду широкого ряда изоморфных замещений в ярозите настыля в спектральном диапазоне $400 - 490 \text{ см}^{-1}$ детализируемого участка с выраженной композиционной зональностью по Pb, проявляются три достаточно интенсивных пика около 435 см^{-1} , 444 см^{-1} и 455 см^{-1} , интенсивность которых изменяется (рис.2). Наблюдение трех полос, вероятно, связано с деформационными искажениями в SO_4 -тетраэдрах, обусловленных катионными замещениями, и понижением их симметрии.

Таким образом, данные электронно-микроскопических, рентгеноспектральных, рентгенофазовых исследований и анализ спектров комбинационного рассеяния свидетельствуют о том, что основным минералом является твердые растворы на основе К-ярозита. Изоморфные примеси Pb, Na, Al, As, Si входят в разные структурные позиции К-ярозита, формируя композиционную зональность в поперечном строении настылей. Изо- и гетеровалентные замещения вносят искажения в симметрию SO_4 -тетраэдров и приводят к расщеплению колебательной моды $\nu_2(\text{SO}_4)$. В спектре комбинационного рассеяния проявляются три пика при 435 см^{-1} , 444 см^{-1} и 455 см^{-1} . Композиционная зональность, установленная методами электронной микроскопии и рентгеноспектрального исследования, хорошо воспроизводится картами распределения отношений интегральных интенсивностей колебательных мод $444 / 435 \text{ см}^{-1}$. Кристаллическая структура ярозитов имеет различную степень деформационного разупорядочения.

Литература

1. Craw D. Pressure-oxidation autoclave as an analogue for acid-sulphate alteration in epithermal systems // *Miner Deposita*. 2006. 14. P. 357-368.
2. Kerr G., Druzbecka J., Lilly K., Craw D. Jarosite Solid solution associated with arsenic-rich mine waters, Macraes Mine, New Zealand // *Mine Water and the Environment*. 2014. 34(4). P. 1-11
3. Dutrizac J.E., Jambor J.L. Jarosites and their applications in hydrometallurgy. In: Alpers C.N., Jambor J.L., Nordstrom D.K. (Eds), *Sulfate Minerals: Crystallography, Geochemistry, and Environmental Significance* // *Rev Mineral Geochem*. 2000. 40. P. 405-452.
4. Stoffregen R.E., Alpers C.N., Jambor J.L. Alunite-Jarosite Crystallography, Thermodynamics, and Geochronology // *Rev. Mineral Geochem*, 2000. 40. P. 453-479.
5. Scott, K.M. Solid solution in, and classification of, gossan-derived members of the alunite-jarosite family, northwest Queensland, Australia // *American Mineralogist*. 1987. Vol. 72. P.178-187.
6. Shannon R.D. Revised effective ionic radii and systematic studies of interatomic distances in halides and chalcogenides // *Acta Crystallographica Section A*. 1976. A32. P. 752-767.
7. Szymanski J.T. The crystal structure of plumbojarosite $\text{Pb}[\text{Fe}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6]_2$ // *The Canadian Mineralogist*. 1985. № 23. P. 659-668.
8. Basciano L.C., Peterson R.C. Jarosite – hydronium jarosite solid-solution series with full iron site occupancy: Mineralogy and crystal chemistry // *American Mineralogist*. 2007. № 92. P. 1464-1473.
9. Spratt H.J., Rintoul L., Avdeev M., Martens W.N. The crystal structure and vibrational spectroscopy of jarosite and alunite minerals // *American Mineralogist*. 2013. № 98. P.1633-1643.
10. Basciano L.C., Peterson R.C. Jarosite – hydronium jarosite solid-solution series with full iron site occupancy: Mineralogy and crystal chemistry // *American Mineralogist*. 2007. № 92. P. 1464-1473.
11. Frost, Ray and Wills, Rachael-Anne and Weier, Matt and Martens, Wayde A Raman spectroscopic study of selected natural jarosites // *Spectrochimica Acta*, 2006. Vol. 63, P. 1-8.

СТРУКТУРНО-ХИМИЧЕСКАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ СУЛЬФИДНЫХ МИНЕРАЛОВ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ СФОКУСИРОВАННЫХ ПУЧКОВ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ

В.И. Рождествина, *veronika@ascnet.ru*, Н.В. Мудровская, *fedorova@ascnet.ru*

Институт геологии и природопользования ДВО РАН, г. Благовещенск

Сульфиды являются важнейшими рудными минералами. С ними связаны основные мировые запасы цветных металлов. Они сопутствуют благороднометалльному оруденению и концентрируют благородные металлы, образуя упорные руды. В связи с этим для их изучения не редко применяют локальные методы высокого разрешения. При использовании методов на основе сфокусированных электронных и/или ионных пучков неустойчивые к таким воздействиям минералы, к которым относятся и многие сульфиды, наблюдается поверхностная деструкция, особенно это касается низкоразмерных включений и вторичных минеральных фаз (пленок оксидов и гидроксидов железа, сульфатов, примазок глинистых минералов и других) на поверхности минералов.

Сфокусированные электронные и ионные пучки используются как для получения аналитического сигнала, так и для подготовки поверхности и тонких пластин для трансмиссионной электронной микроскопии. Это требует понимания процессов, происходящих в облучаемом образце в зависимости от его химического состава, структуры и физического состояния [1]. Взаимодействие ионов с поверхностью облучаемых материалов приводит к ионизации и разрушению химических связей, появлению большого числа дефектов, возникающих в результате смещения атомов и внедрения ионов в структуру минерала, и другим эффектам, которые неизбежны при подготовке образца с помощью любой технологии ионного пучка [2]. Возникновение вторичных дефектов существенно увеличивают глубину нарушенного слоя минерала, появляется неравновесное распределение внутренних и поверхностных напряжений. В зависимости от энергии и массы ионов, температуры, вида образующихся дефектов, коэффициента распыления материала и других параметров монокристаллическая структура поверхностных слоев может превращаться в аморфную [3]. И даже в однокомпонентных мишенях возможны химические превращения, вызванные взаимодействиями ионов с облучаемым веществом.

В настоящей работе рассматриваются структурно-химические особенности изменения монокристаллической поверхности при воздействии фокусированного ионного пучка на сульфидный минерал платины куперит (PtS). Куперит является устойчивым минералом, нерастворимым в концентрированных кислотах и царской водке. PtS стабилен до температуры 1200°C , в пламени паяльной трубки при нагревании до 800°C подвергается реакции термического разложения, в закрытой трубке дает возгон S.

Для подготовки образцов использовался жидкометаллический источник ионов Ga^+ (30, 10 и 5 кэВ с нормальным углом падения при вырезании образца и касательным 86° при утонении образца). Молекулярная масса Ga 69.72 а.е.м., то есть соотношения между молекулярными массами атомов мишени и иона галлия составляет $M_{\text{Pt}}/M_{\text{Ga}} - 2.8$, а $M_{\text{Ga}}/M_{\text{S}} - 2.17$. Стехиометрический состав куперита (PtS) Pt – 85.88%, S – 14.12%. Отношение атомных масс компонентов Pt (195.09) / S (32.064) = 6.08. Поверхностная энергия связи для Pt – 5.86 eV, S – 2.88 eV. PtS кристаллизуется в тетрагональной сингонии с параметрами решетки $a = 3.47$, $c = 6.10 \text{ \AA}$, пр. гр. $P4_2/mmc$ (№ 131), плотность – 9.5 г/см^3 .

Между элементами исследуемой системы возможны химические взаимодействия с образованием сульфидов и интерметаллидов. Сульфиды галлия GaS и Ga_2S_3 образуются прямым синтезом из элементов при нагревании. В вакууме при нагревании GaS диспропорционирует, образуя Ga_2S_3 и Ga_2S . При 800°C Ga_2S разлагается на элементы, а Ga_2S_3 при 1000°C разлагается с выделением Ga_2S_2 и серы. В соответствии с диаграммой состояния в

системе Ga-Pt существует восемь соединений, образующихся по перитектическим, перитектоидным реакциям и в результате конгруэнтного плавления. Растворимость Pt в Ga не обнаружена, а Ga в Pt достигает 15% при 1361°C. Ковалентные радиусы (пм) Pt – 130, Ga – 126 и S – 102. Соотношения $rS/rPt = 0.78$, $rS/rGa = 0.81$, $rGa/rPt = 0.96$. Таким образом, для Ga в структуре куперита (PtS) наиболее преимущественными при замещении являются позиции атомов Pt.

В соответствии с данными модельных экспериментов, выполненных с применением программы моделирования воздействий ионов на материалы SRIM [4] получено что для PtS суммарный коэффициент распыления атомов мишени, составляет 6.66 atom/ion, на долю Pt приходится 2.34, S – 4.32. Отношение коэффициентов распыления атомов S/Pt ~ 1.85 . Максимальная глубина эмиссии атомов мишени Pt ~ 10 nm, S ~ 13 nm. В результате ионной бомбардировки куперита происходит постепенная металлизация поверхностного слоя. Как показали данные энергодисперсионного анализа изменений химического состава облучаемых образцов до и после проведения подготовки поверхности методом FIB содержание S существенно снижается и атомное соотношение 1:1 в PtS по большинству замеров приближается к соотношению 2:1 и более. Учитывая эти данные выполнена серия модельных расчетов выхода атомов Pt и S в условиях постепенной металлизации. С достижением толщины слоя металлизации 1 нм он становится основным источником эмиссии атомов мишени. Распыление атомов из основного слоя PtS малозначимо и составляет 1-2 атома на 100 ионов. Однако, толщина измененного слоя значительно больше глубины зоны, из которой распыляются атомы, и в большинстве случаев сравнима с пробегом первичных ионов, достигающем 40 нм, с максимумом плотности в зоне 13–15 нм. При касательном направлении пучка ионов активное распыление преимущественно осуществляется с поверхностного изменённого слоя, но соотношение между коэффициентами распыления атомов мишени примерно сохраняется. При обработке нарушенного поверхностного слоя сфокусированным пучком ионов с более низкой энергией 10 и 5 кэВ вблизи порога, когда атомам мишени передаются малые энергии, каскад столкновений очень быстро заканчивается и значительный вклад в распыление дают сами первичные выбитые атомы. Структурная укладка атомов Pt хорошо разрешается, атомов S в поверхностном слое не наблюдаются.

Дефектообразование происходит быстрее, чем распыление. Когда плотность локальных дефектов превышает критическое значение, известный как порог аморфизации, поверхностный кристаллический слой становится аморфным. Используя различные режимы обработки ионным пучком, получены изображения высокого разрешения куперитовых тонких пластин. При высоких энергетических воздействиях поврежденный слой не позволяет наблюдать структуру, с уменьшением напряжения, несмотря на присутствие некоторого фонового шума от поврежденного слоя атомные плоскости {101} с интервалом 0.304 нм явно видимы. При финальной полировке сфокусированным ионным пучком (5 кэВ) глубина проникновения ионов незначительна, распыление происходит преимущественно из металлизированного слоя, но структурно-искаженная зона поверхностного слоя сохраняется.

Исследования поперечного сечения пластин PtS, подготовленных с помощью сфокусированного ионного пучка при 30 кэВ показали наличие поверхностного слоя с нарушенной структурой с глубиной ~ 13 -16 нм. Элементный профиль поперечного сечения пластины свидетельствует, что в поврежденном поверхностном слое содержание серы ниже нежели в кристаллической неповрежденной области. Содержание серы в поверхностном слое уменьшается более чем в два раза от исходного и составляет 5.09 мас. %.

Финальная полировка поверхности позволяет получить изображение более высокого разрешения с минимальным аморфным ореолом и пятнами. На экспериментальных картинах дифракции электронов наблюдается относительно симметричное расположение дифракционных пятен, свидетельствующее о монокристаллическом состоянии куперита. Однако детальный анализ показывает, что имеется нарушение статистического распределения интенсивностей рефлексов, ясно проявляются запрещенные в структуре (пр. гр. $P4_2/mmc$)

рефлексы, наблюдается нарушение симметрии кристаллографического креста с отклонением $\pm 0.2^\circ$ относительно 90° в модельной симметричной структуре куперита (рис.).

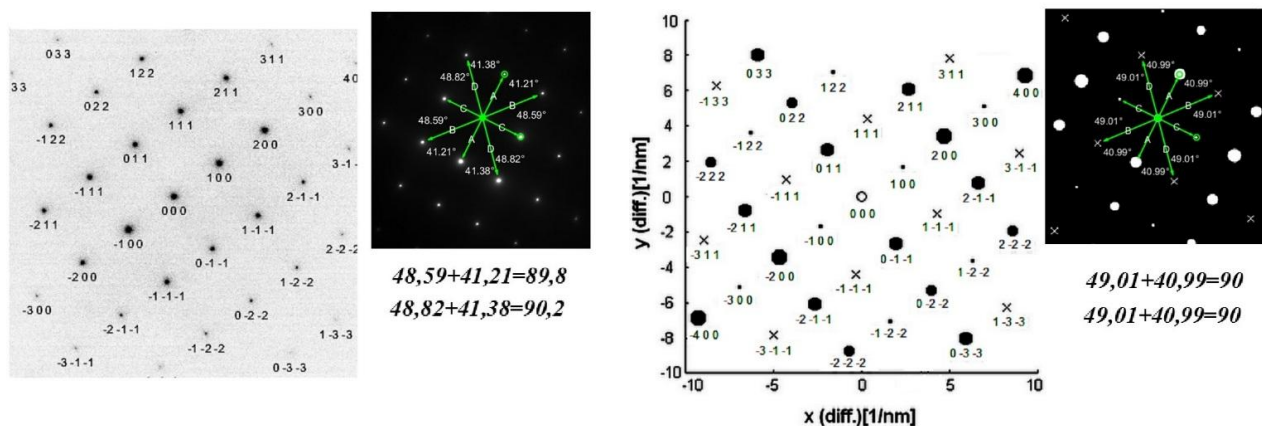


Рис. Экспериментальная и модельная картина дифракции электронов PtS в ориентации [011]

Непосредственно после воздействий сфокусированным ионным пучком происходит некоторое распухание кристаллической структуры с увеличением объема кристаллической решетки на 1–4%. Но стабилизация условий во времени приводит к существенному снижению объема кристаллической решетки до 8% относительно расчетного значения. Этот процесс обусловлен структурной перестройкой, связанной с высокой плотностью вакансий в подрешетке серы и перекристаллизацией химически изменённого поверхностного слоя.

Таким образом, поверхностный слой ламелей куперита, наблюдаемый на электронных снимках, является химически и структурно искаженным. При проведении исследований с использованием высокоразрешающих методов, основанных на взаимодействии вещества с фокусированными пучками заряженных частиц, в сульфидных минералах происходят структурные и химические трансформации, которые необходимо учитывать при интерпретации аналитических данных. Особенно следует отметить влияние таких воздействий на наноразмерные минералы, в которых структурная и химическая деструкция может распространяться на весь объем минерала.

Литература

1. Lechner L., Biskupek J., Kaiser U. Improved focused ion beam target preparation of (S)TEM specimen – a method for obtaining ultrathin lamellae. // Microsc. Microanal. 18 (2012) 379–384.
2. Бетц Г., Венер Г. Распыление в многокомпонентных материалах. / В кн. Распыление твердых тел ионной бомбардировкой. Вып. II. Распыление сплавов и соединений, распыление под действием электронов и нейтронов, рельеф поверхности: Пер. с англ./Под ред. Р. Бернша — М.: Мир. 1986. С. 24-133.
3. Rubanov S., Suvorova A., Popov V.P., Kalinin A.A., Pal'yanov Yu.N. Fabrication of graphitic layers in diamond using FIB implantation and high pressure high temperature annealing, DRM 63(2016) 143-147.
4. Дж.Ф. Зейглер, Дж.П. Бирсэк, SRIM2008, 2008. Доступный от: <http://www.srim.org>

ОСОБЕННОСТИ БЕТА- И ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ РАДИОАКТИВНЫХ ИЗОТОПОВ В РУДОСОДЕРЖАЩИХ И ВМЕЩАЮЩИХ ПОРОДАХ ЗОЛОТОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ АЛБЫН

Н.И. Синякова, *varidenok@yandex.ru*, Н.М. Сафина, *krotella@mail.ru*

Институт геологии и природопользования ДВО РАН, Благовещенск

Изучение связи уровня активности гамма- и бета-излучающих изотопов в породах с содержанием в них золоторудных образований проводилось в рамках темы НИР (руководитель темы академик РАН Моисеенко В.Г.). В ходе исследования были получены данные об условной активности ряда изотопов (^{40}K , ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{222}Rn , ^{224}Ra , ^{226}Ra , ^{228}Ra , ^{232}Th и ^{228}Th) в образцах рудосодержащих и вмещающих пород золоторудного месторождения Албын. Конечная цель исследования: выявление возможной корреляции радиоактивности пород с содержанием в них благородных элементов.

Идею о том, что отклонение содержания К или Th в породах от их скоррелированных кларковых концентраций является индикатором накопления в них рудных элементов ранее высказывалась А.М. Портновым [1]. При этом отмечалось, что в зонах адуляризации золото-серебряных месторождений калий и торий являются антагонистами. Эта работа послужила основанием для предположения, что содержание благородных металлов в породах может иметь связь с содержанием в них радиоактивных элементов и может быть установлено гамма- и бета-спектрометрическими методами.

Ранее для вмещающих комплексов Албынского золоторудного месторождения уже были получены коэффициенты корреляции содержания урана и тория с золотом и серебром [2].

В 2022 году нами были проведены замеры активности гамма- и бета-излучающих изотопов в рудосодержащих и вмещающих породах, отобранных золоторудном месторождении Албын [3]. Измерения показали, что в среднем активность бета- и гамма-излучающих изотопов во вмещающих породах выше, чем в рудных. Особенно ярко это проявилось при рассмотрении активности изотопов ^{40}K , ^{137}Cs и ^{90}Sr (Y), в образцах вмещающих пород их активность была в 2 и более раз выше, чем в рудосодержащих породах.

Для данного исследования были взяты образцы вмещающих и рудных разностей в точки № 2 в Восточной части Центрального карьера Албынского месторождения (52°55'42,9", 133°33'55,5").

Месторождение Албын расположено в верховьях одноименного ручья, к юго-востоку от посёлка Златоустовск и принадлежит Харгинскому рудно-россыпному узлу Джагды-Селемджинской металлогенической зоны.

Месторождение локализовано во вмещающих комплексах афанасьевской (PZ?) и златоустовской свит (C_2). Афанасьевская свита представлена мусковит-кварц-альбитовыми, мусковит-альбит-кварцевыми, альбит-хлорит-эпидот-амфиболовыми сланцами. Златоустовской свита сложена кварц-серицитовыми, часто углеродсодержащими сланцами, эпидот-актинолит-альбитовыми, кварц-эпидот-хлоритовыми, хлорит-актинолит-кварц-альбитовыми, мусковит-кварцальбитовыми сланцами, метапесчаниками, филлитизированными глинистыми сланцами, метабазальтами, мраморизованными известняками.

Рудными породами служат метасоматиты развитые по слюдистым сланцам афанасьевской свиты и телам метабазитов златоустовского комплекса слюдисто-кварц-альбитового и хлорит-кварц-серицитового состава. Минерализация золота чаще всего связана с сульфидизацией и прожилковым окварцеванием в слюдисто-кварц-альбитовых метасоматитах [4]. Реже оруденение локализовано в зонах милонитизации и катаклаза и совсем незначительно в хлорит-кварцево-слюдистых метасоматитах. Руды месторождения относятся к убогосульфидным и малосульфидным [5]. Основные сульфиды (2-3%) – арсенопирит, реже

пирит, редко халькопирит, галенит, сфалерит, шеелит, антимонит.

Из рудной зоны отобрана проба АВ-И16-15, из вмещающих пород – АВ-И16-14. Пробоподготовка образцов включала в себя щадящее дробление до фракции (-1).

Измерения активности бета-излучающих изотопов ^{137}Cs , ^{40}K и ^{90}Sr в образцах проводилось при помощи сцинтилляционного бета-спектрометра «Прогресс-бета» в режимах спектрометрического измерения активности $^{90}\text{Sr}(\text{Y})$ и ^{137}Cs с прямым переносом вещества пробы в измерительную кювету. Масса счетного образца – 10 г. Экспозиция измерения составляла 1800 с. Фиксация результатов измерения проводилась при помощи программного обеспечения «ПРОГРЕСС-5».

Активность гамма-излучающих изотопов замерялась на сцинтилляционном гамма-спектрометре «Прогресс-гамма». Масса счетного образца – 500 г, геометрия измерения – половина чаши Маринелли, экспозиция замера – 1800 с.

В результате замеров были получены данные, представленные в таблицах 1 и 2.

Таблица 1 – Сравнение активности бета-излучающих изотопов в рудосодержащей пробе АВ-И16-15 и вмещающей пробе АВ-И16-14

Номер пробы	Номер замера	Активность в пробе, Бк/кг		
		^{40}K	^{137}Cs	$^{90}\text{Sr}(\text{Y})$
АВ-И16-14 (вмещающие зеленые сланцы)	1	684,0	1962,0	73,0
	2	652,0	1776,0	138,0
	3	551,0	2059,0	151,0
	4	708,0	2106,0	86,0
	5	612,0	1945,0	118,0
	6	745,0	1925,0	65,0
	7	614,0	1974,0	110,0
	8	637,0	2048,0	39,0
	9	849,0	2105,0	15,0
	10	847,0	2093,0	68,0
	Средние значения	689,9	1999,3	86,3
АВ-И16-15 (руда метабазиты)	1	22,0	260,0	8,0
	2	н/о*	192,0	11,0
	3	н/о	194,0	48,0
	4	290,0	128,0	н/о
	5	н/о	203,0	74,0
	6	74,0	80,0	н/о
	7	96,0	205,0	н/о
	8	28,0	н/о	359,0
	9	97,0	н/о	118,0
	10	37,0	14,0	142,0
	Средние значения	92,0	159,5	108,6

Таблица 2 – Сравнение активности гамма-излучающих изотопов в рудосодержащей пробе АВ-И16-15 и вмещающей пробе АВ-И16-14

Номер пробы	Номер замера	Активность в пробе, Бк/кг							
		^{40}K	^{137}Cs	^{222}Rn	^{224}Ra	^{226}Ra	^{228}Ra	^{232}Th	^{228}Th
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
АВ-И16-14 (вмещающие зеленые сланцы)	1	771,0	1,72	53,0	29,5	30,25	48,0	45,3	43,1
	2	915,0	3,96	112,3	н/о	40,40	34,1	48,9	20,6
	3	958,0	4,09	99,7	34,4	32,90	64,7	48,4	49,8
	4	885,0	2,32	101,8	1,1	32,85	25,6	46,5	24,4
	5	980,0	1,35	106,1	н/о	31,55	29,6	51,2	22,5
	6	878,0	5,92	106,2	8,5	28,75	32,4	47,8	н/о
	7	819,0	3,57	100,3	н/о	29,30	43,0	46,0	33,3
	8	861,0	5,34	99,5	18,9	27,70	46,3	48,4	28,3

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
АВ-И16-14 (вмещающие зеленые сланцы)	9	565,0	н/о*	58,54	10,5	17,22	22,9	21,8	22,4
	10	930,0	1,02	102,9	34,2	20,83	59,1	48,1	33,4
	Среднее	856,2	3,25	94,03	19,59	29,18	40,57	45,24	30,87
АВ-И16-15 (руда метабазиты)	1	38,4	2,16	8,53	н/о	4,84	5,7	4,36	н/о
	2	88,2	1,88	5,19	н/о	5,8	н/о	2,65	н/о
	2	54,8	4,82	8,81	н/о	8,85	н/о	4,45	0,10
	4	20,0	3,42	3,93	н/о	0,12	7,5	н/о	н/о
	5	150,0	1,75	6,02	н/о	1,45	н/о	1,96	н/о
	6	71,6	5,68	5,06	н/о	6,48	20,1	0,93	н/о
	7	80,4	4,09	4,64	н/о	7,67	н/о	н/о	н/о
	8	32,4	4,64	1,07	н/о	9,53	2,0	5,80	н/о
	9	73,2	3,40	2,89	н/о	1,85	8,4	1,61	н/о
	10	39,9	3,81	2,16	н/о	4,39	7,9	н/о	0,96
	Среднее	64,89	3,565	4,83	н/о	5,098	8,6	3,11	0,53

*н/о – значение ниже чувствительности прибора.

При сравнении полученных данных было выявлено, что средние показатели удельной активности бета- и гамма-излучающих изотопов во вмещающей породе выше, чем в рудной. При этом для бета-излучающих изотопов ^{40}K и ^{137}Cs и гамма-излучающих изотопов ^{40}K , ^{222}Rn , ^{224}Ra , ^{226}Ra , ^{228}Ra , ^{232}Th и ^{228}Th они отличаются на порядок.

Эти результаты сопоставимы с данными, полученными ранее для проб с номерами АЦ-ИН-29 и АЦ-ИН-30, отобранных на том же месторождении, однако, в данном случае выявленная закономерность носит ещё более выраженный характер.

Авторы выражают благодарность И.В. Кузнецовой (снс ИГиП ДВО РАН) за предоставленные для исследования образцы и консультацию.

Литература

1. Портнов А.М. Радиогеохимическая специализация – индикатор при аэрогеофизических поисках оруденения // Новые идеи в науках о Земле : в 7 т. Материалы XIV Международной научнопрактической конференции "Новые идеи в науках о Земле". М. : Издательство МГРИ-РГГРУ им. С. Орджоникидзе, 2019. Т. 2. С. 151-154.
2. Моисеенко Н.В. Уран и торий в породах и рудах золоторудного месторождения Албын // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2019. № 12-1 (39). С. 73-76.
3. Синякова Н.И., Сафина Н.М. Активность бета- и гамма-излучающих изотопов в рудосодержащих и вмещающих породах золоторудного месторождения Албын // Молодежь XXI века: шаг в будущее: XXIII региональная научно-практическая конференция, 24 мая 2022 г., Благовещенск: [сб. докл.]. Благовещенск: ДальГАУ, 2022. С. 345–347.
4. Казанцев А.Е., Малышев А.И., Орлова Н.И. Гидротермалиты Албынского месторождения // Разведка и охрана недр. 2013. № 11. С. 29-34.
5. Мельников А. В., Степанов В. А. Рудно-россыпные узлы Приамурской золотоносной провинции. Ч. 2: Центральная часть провинции. Благовещенск: АмГУ, 2014. 300 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТАВА ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА В АЛЛЮВИАЛЬНЫХ ПОЧВАХ МЕТОДОМ ПИРОЛИТИЧЕСКОЙ ГАЗОВОЙ ХРОМАТОГРАФИИ

Т.А. Юркова, *Laborant-007@mail.com*

Институт геологии и природопользования ДВО РАН, Благовещенск

Специфические и неспецифические почвенные органические соединения: простые и сложные углеводы, фенолы, лигнин, липиды, гуминовые вещества и др. – влияют на многие экосистемные функции почв: круговорот питательных веществ, депонирование углерода и связывание загрязняющих веществ [1,2]. Применение пиролиза с последующим газохроматографическим разделением и масс-детекцией продуктов позволяет достигать глубокого понимания сложных органических матриц с точки зрения источников происхождения органического вещества, степени его разложения и стабильности [3]. В настоящее время поиск набора характеристических особенностей (“химической подписи”) почвенного органического вещества с помощью пиролиза в сочетании с ГХ–МС является наиболее эффективным методом изучения химического состава почвенного органического вещества [4].

Аллювиальные почвы – тип почв, формирующихся на речных слоистых наносах в наиболее пониженных прирусловых частях долин. Аллювиальные слоистые почвы содержат всего 0,5-1,5% органического углерода, преимущественно с равномерным или постепенно убывающим профильным распределением. В органогенных горизонтах накапливается гумус гуматно-фульватного типа, а в минеральных фульватно-гуматный. Содержание водорастворимого органического вещества варьирует в пределах 30 – 60 мг/100 г, запасы гумуса не превышают 150 т/га [5]. Аллювиальные почвы Дальнего Востока, в том числе Амурской области по сравнению с аллювиальными почвами других регионов, остаются слабо изученными.

Целью работы являлось определение качественного состава почвенного органического вещества в аллювиальных слоистых почвах. В работе использовали аллювиальную слоистую почву реки Селемджа. Отбор проб был произведен на глубину гумусо-аккумулятивного горизонта. Отбор проб производился послойно: 0-4, 4-8 см, 8-12 см, 12-16 см, 16-20 см. ГХ/МС выполняли на газовом хроматомасс-спектрометре Shimadzu GCMS-QP2010Ultra, оснащенный многофункциональным инжектором OPTIC-4. Аналитический пиролиз проводили в двух повторностях. В стеклянную микровиалу помещали навеску массой 1–3 мг. Затем к образцу добавляли тетраметиламмония гидроксид (5 мкл, Sigma-Aldrich,) в метанол-ацетоновом растворе. Образец оставлялся на 5 мин для испарения растворителя.

Температурная программа инжектора: начальная температура – 100 °С, затем подъем температуры со скоростью 10 °С/с до 500 °С. Пиролиз образца проводили в течение 40 с. В качестве газа-носителя использовался гелий (чистота 99,995%). Газ-носитель подавался со скоростью 3 мл/м, деление потока 1:220.

Для разделения использовали легкополярную колонку Ultra-ALLOY 5-MS(HT) +1 m capillary (длина 30 м, внутренний диаметр 0,25 мм, фаза 0,25 мкм). Начальная температура колонок – 50 °С (выдержка 1 мин), затем подъем температуры со скоростью 5 °С/мин до 300 °С (выдержка 5 мин). Температура интерфейса МСД – 280 °С, ионного источника – 250 °С, диапазон масс – 35–600, скорость сканирования – 2000 ед/с. Для обработки получаемых хроматограмм использовали программное обеспечение GC Posttran. Для идентификации органических соединений – библиотеку масс-спектров NIST.

Разнообразие соединений в аллювиальной почве представлено в таблице 1. На основе проведенных газохроматографических исследований образцов аллювиальных слоистых почв реки Селемджа был идентифицирован широкий ряд жирных кислот, которые представлены соединениями ряда C9–C27, а также кислородсодержащими соединениями: длинноцепочечными алифатическими спиртами, углеводами и парафинами.

Таблица 1 – Таблица органических соединений, идентифицированных в образцах аллювиальных слоистых почв р. Селемджа методом пиролитической ГХ-МС

Времена удерживания	Компоненты	Площадь, %	Происхождение
Глубина отбора 0-4 см			
26.317	фруктофураноза, 2,6 ангидро-1,3,4-три -о метил	4,85	углевод
26.664	2,3,4 -триметил левоглюкозан	4,08	биомаркер пиролиза древесины
35.648	тридекановая кислота, 12-метил-, метиловый эфир	3,52	липид, маркер микроорганизмов
40.139	гексадекановой кислоты метиловый эфир	21,74	липид, маркер растительной биомассы
43.708	6- октадекановой кислоты метиловый эфир(z)	4,36	липид, маркер растительной биомассы
44.193	октодекановой кислоты метиловый эфир	6,41	липид, маркер растительной биомассы
44.754	8-додеценная кислоты 11-гидрокси- метиловый эфир	12,45	оксипипин
49.627	докозанол	11,2	насыщенный жирный спирт
51.299	докозановой кислоты метиловый эфир	13,84	липид, маркер растительной биомассы
54.462	тетракозановой кислоты метиловый эфир	17,54	липид, маркер растительной биомассы
Глубина отбора 4-8 см			
40.146	пентадекановой кислоты метиловый эфир	56,23	липид, маркер растительной и бактериальной биомассы
44.187	октодекановой кислоты метиловый эфир	19,27	липид, маркер растительной биомассы
54.466	тетракозановой кислоты метиловый эфир	24,50	липид, маркер растительной биомассы
Глубина отбора 12-16 см			
8.455	гексановой кислоты метиловый эфир	0,87	липид, маркер растительной биомассы
35.641	тетрадекановой кислоты метиловый эфир	1,61	липид, маркер растительной биомассы
40.133	6- октадекановой кислоты метиловый эфир (z)	2,44	липид, маркер растительной биомассы
40.460	гексакозановой кислоты метиловый эфир	25,75	липид, маркер растительной биомассы
43.691	9-октадекановой кислоты метиловый эфир	2,99	липид, маркер растительной биомассы
44.177	октодекановой кислоты метиловый эфир	2,87	липид, маркер растительной биомассы
47.927	11,14- эйкозановой кислоты, метиловый эфир	4,61	липид, маркер растительной биомассы
52.554	гексакозан	13,85	алкан, маркер растительной биомассы
53.541	триаконтановой кислоты метиловый эфир	45,00	липид, маркер растительной биомассы (преимущественно древесной)
Глубина отбора 8-12 см			
33.231	метил гексадециловый эфир	2,81	липид, маркер растительной биомассы
35.639	тетрадекановой кислоты метиловый эфир	10,56	липид, маркер растительной биомассы
37.961	тетрадекановой кислоты, 12-метил-, метиловый эфир	7,00	остатки микроорганизмов, <i>Streptomyces malaysiense</i>
39.645	7- гексадекановой кислоты метиловый эфир	23,86	липид, маркер растительной биомассы
40.138	гексадекановой кислоты метиловый эфир	33,73	липид, маркер растительной биомассы
43.695	9-октадекановой кислоты метиловый эфир	12,05	липид, маркер растительной биомассы
44.184	гексакозановой кислоты метиловый эфир	6,2	липид, маркер растительной биомассы
46.084	метиловый октадециловый эфир	3,78	липид, маркер растительной биомассы, водорослей
Глубина отбора 16-20 см			
40.138	гексадекановой кислоты метиловый эфир	68,43	липид, маркер растительной биомассы
44.177	тетрадекановой кислоты метиловый эфир	32,73	липид, маркер растительной биомассы

Количество и состав компонентов различались в каждом почвенном слое. Больше всего (10 соединений) было идентифицировано в самом верхнем слое, на глубине отбора 0-4 см. Но количество компонентов не зависело от глубины слоя: в слое 4-8 см обнаружили 3 соединения, а на глубине 8-12 см – 8 соединений, 12-16 см - 9 соединений. В самом нижнем слое 16-20 см

выявлено только 2 соединения. Как видно из таблицы компонентов, качественный состав различается в слоях, хотя некоторые компоненты повторяются вниз по профилю. Это метиловые эфиры жирных кислот: гексадекановой, октадекановой, 9-октадекановой и тетракозановой, которые являются маркерами биомассы растений. Обнаруженная закономерность может быть следствием разного действия почвенных микроорганизмов на растительные остатки и разной степени преобразования органического вещества.

Основную часть идентифицированных соединений в аллювиальной слоистой почве реки Селемджа представляют метиловые эфиры жирных кислот, которые являются маркерами растительной биомассы, преимущественно травянистых растений. Слои с наибольшим количеством компонентов (0-4 см и 12-16 см) являются уникальными по составу.

Только в верхнем слое 0-4 см были обнаружены углеводы – фруктофураноза, 2,6 ангидро-1,3,4-три-о метил. В этом же слое идентифицировали соединение класса оксипипин (8-додеценвая кислоты 11-гидрокси-метиловый эфир). Оксипипины встречаются у растений, грибов, водорослей. На глубине 12-16 см встречаются алканы и метиловые эфиры 11,14-эйкозановой и триаконтановой кислот, которые не были идентифицированы в остальных слоях.

В слое 0-4 см и 12-16 см. обнаружены маркеры древесных растений. В других профилях такие маркеры не присутствуют. В слоях 0-4 см и 8-12 см обнаружены маркеры почвенных микроорганизмов.

Таким образом, исследование аллювиальных слоистых почв методом пиролитической ГХ-МС позволило установить качественный состав органического вещества, что позволит судить о его происхождении и трансформации.

Литература

1. Caesar-Tonthat T. Soil binding properties of mucilage produced by a basidiomycete fungus in a model system // *Mycological Res.* 2002. V. 106. P. 930–937. <https://doi.org/10.1017/S0953756202006330>
2. Debosz K., Petersen S.O., Kure L.K., Ambus P. Evaluating effects of sewage sludge and household compost on soil physical, chemical and microbiological properties // *Appl. Soil Ecol.* 2002. V. 19. P. 237–248. [https://doi.org/10.1016/S0929-1393\(01\)00191](https://doi.org/10.1016/S0929-1393(01)00191)
3. Schellekens J., Buurman P., Pontevedra-Pombal X. Selecting parameters for the environmental interpretation of peat molecular chemistry – a pyrolysis-GC/MS study // *Org. Geochem.* 2009. V. 40. P. 678–691. <https://doi.org/10.1016/j.orggeochem.2009.03.006>
4. Lara-Gonzalo A., Krüge M.A., Lores I., Gutierrez B., Gallego J.R. Pyrolysis GC–MS for the rapid environmental forensic screening of contaminated brownfield soil // *Org. Geochem.* 2015. V. 87. P. 9–20. <https://doi.org/10.1016/j.orggeochem.2015.06.012>
5. Мартынов, А. В. Влияние регулирования речного стока на почвенный покров пойм крупных рек Зейско-Селемджинской равнины / А. В. Мартынов // *Вестник Северо-Восточного научного центра ДВО РАН.* – 2016. – № 4. – С. 40-51.

ГЕОЛОГИЯ, ИСТОРИЯ ФОРМИРОВАНИЯ И МИНЕРАГЕНИЯ ОСАДОЧНЫХ БАССЕЙНОВ, СТРАТИГРАФИЯ

УДК 552.576:553.26

МИНЕРАЛЬНЫЕ КОМПЛЕКСЫ ПЕРВИЧНЫХ УГЛЕЙ РАЙЧИХИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ И ИХ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ В ПРОДУКТАХ СГОРАНИЯ

С.В. Дугин, *duservad@gmail.com*

Институт геологии и природопользования ДВО РАН, Благовещенск

Бурый уголь является одним из важнейших видов твердых полезных ископаемых в Амурской области. Он обеспечивает значительную часть энергопотребления в области, но в то же время рассматривается как сырьё для некоторых руд и нерудных полезных ископаемых [1,2]. Среди них в последние годы важное значение приобретает возможность использования углей и продуктов их сгорания в качестве сырья для попутного извлечения редких, рассеянных, благородных, и др. металлов. В связи с этим, возникает целый ряд вопросов при изучении проблем экзогенного рудообразования в системе взаимодействия питающих провинций и областей угленакопления: условий вскрытия рудных источников, их транспортировки и накопления [3, 4]. Они могут не только помочь расшифровать условия миграции микрокомпонентов в процессе их перемещения к областям торфонакопления, но также служить важными поисковыми признаками ресурсной базы областей сноса, а также свидетельствовать о масштабах и роли минеральных комплексов в углях.

Эти вопросы решались на основе исследования рудных микрокомпонентов Райчихинского месторождения, расположенного на границе Зейско-Буреинского бассейна с Туранским массивом. Цель исследования: изучение минеральных компонентов в первичных углях Райчихинского месторождения и продуктах их сгорания, корреляция с питающими провинциями, выявление условий их миграции и преобразований при сжигании.

Для проведения исследований использовались минеральные фракции из бурого угля и продуктов его сгорания. Выделение минеральных компонентов из первичных углей проведено на шлюзовой установке из пробы весом 20.50 кг, измельченной до -0.2 мм. Те же процедуры проводились и с продуктами сгорания (шлак, зола уноса, шлам), полученными в результате сжигания валовой (200 кг) пробы угля на «Экспериментально-технологическом комплексе (ЭТК “Амур”)».

В результате исследований было проведено разделение концентратов, выделенных из углей на магнитную, электромагнитную, немагнитную тяжелую и легкую фракции. Было получено четыре пробы весом от 25.0 г до 47.0 г и десять проб из продуктов сгорания весом от 25.0 г до 44.0 г. Кроме минералогических исследований пробы были изучены с помощью сканирующей электронной микроскопии (SEM/EDS) (YVEGA 3LMH scanning electron microscope (TESCAN, Brno, Czech Republic)) с энергодисперсионным рентгеновским микроанализатором X-Max80 energy-dispersive X-ray microanalyzer (Oxford Instruments, High Wycombe, UK) в ИТиГ ДВО РАН. По результатам минералогических исследований установлено, что в вышеприведенных фракциях преобладают (от 0.20% до 67.50%) обломки горных пород и породообразующие минералы (от 10.50% до 51.70%) интрузивных пород. С помощью минералогического анализа определены акцессорные (апатит, сфен, магнетит, циркон, ильменит, гранат, корунд и др.) и вторичные (эпидот, серицит, хлорит, арсенопирит и др.) минералы. В единичных знаках присутствуют сульфиды цинка, свинца, меди и карбонат. Результаты SEM/EDS анализа минеральной фракции угля (рис. 1) в целом повторяют вышеприведенный набор минералов. Большинство из них, например, пирротин присутствуют в форме хорошо ограненных кристаллов и их обломков (рис. 1а) размером от 50 мкм до 470 мкм.

Также присутствуют микросферы фрамбоидального пирита (рис. 1б) радиусом от 15 мкм до 30 мкм. Исключение составляют зерна самородного свинца, предположительно галенита (рис. 1в).



Рис. 1. Пирротин (а), фрамбоидальный пирит (б) и галенит (в) в первичных углях Райчихинского месторождения.

Результаты исследований продуктов сгорания существенно не изменяют общую картину состава минеральных комплексов. Преобладают (до 70%) обломки горных пород, породообразующих, аксессуарных и вторичных минералов, но впервые в шлаке (рис. 2) обнаружены единичные зерна Au. Au округлой (окатанной) формы размером 121×98 мкм (рис. 2а). Выявлены частицы Cu в форме округлого зерна (рис. 2б) и в виде проволоки (рис. 3в).

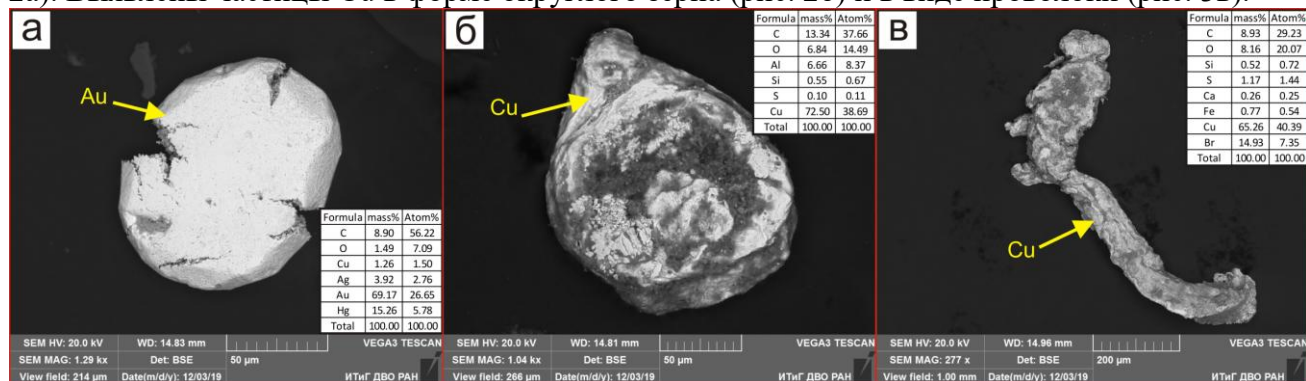


Рис. 2. Au (а) и Cu (б, в) в шлаке Райчихинского месторождения.

Существенно меняются состав и форма рудных микрокомпонентов в золе уноса (рис. 3). Электронно-микрондовым анализом установлены Au, Ag, Cu, сплавы Zn и Cu, Pb и Sn. Золото (рис. 3а, б) представлено в форме чешуек (рис. 3а) размером 12×7 мкм. Также встречается Au округлой формы (рис. 3б) диаметром 123 мкм. Серебро (рис. 3в) присутствует в виде разрушенной микросферы. Сплавы представлены Zn и Cu (рис. 3г), Pb и Sn (рис. 3д). Агломераты сложены зернами пирита (рис. 3е).

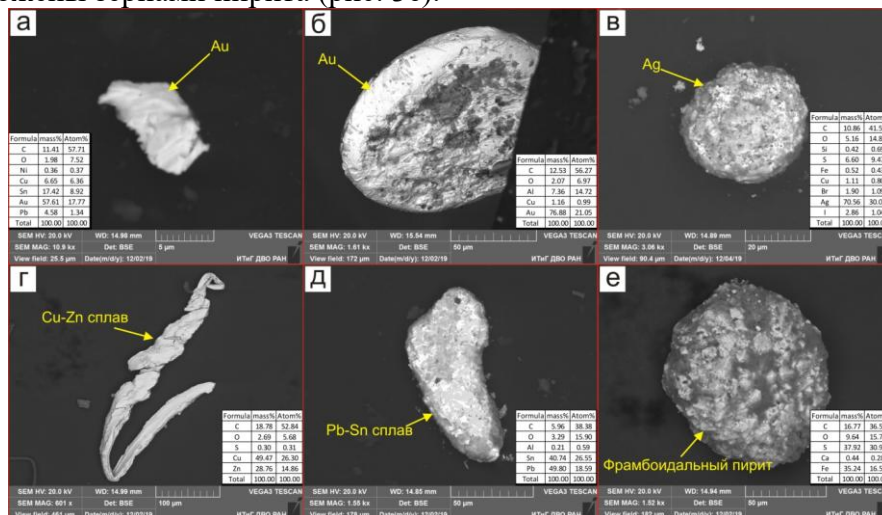


Рис. 3. Au (а, б), Ag (в), сплавы Zn и Cu (г), Pb и Sn (д), пирит (е) в золе уноса Райчихинского месторождения.

В шламе (рис. 4) установлены гематит (рис. 4а), ильменит (рис. 4б), геденбергит (рис. 4в), встречающиеся в виде расплавленных частиц и микросфер. Также присутствуют сплавы Pb и Sn в виде застывших капель размером от 70 мкм (рис. 4г) до 2400 мкм (рис. 4д), и сплав Cu и Zn (рис. 4е) древовидной формы (30-150 мкм).

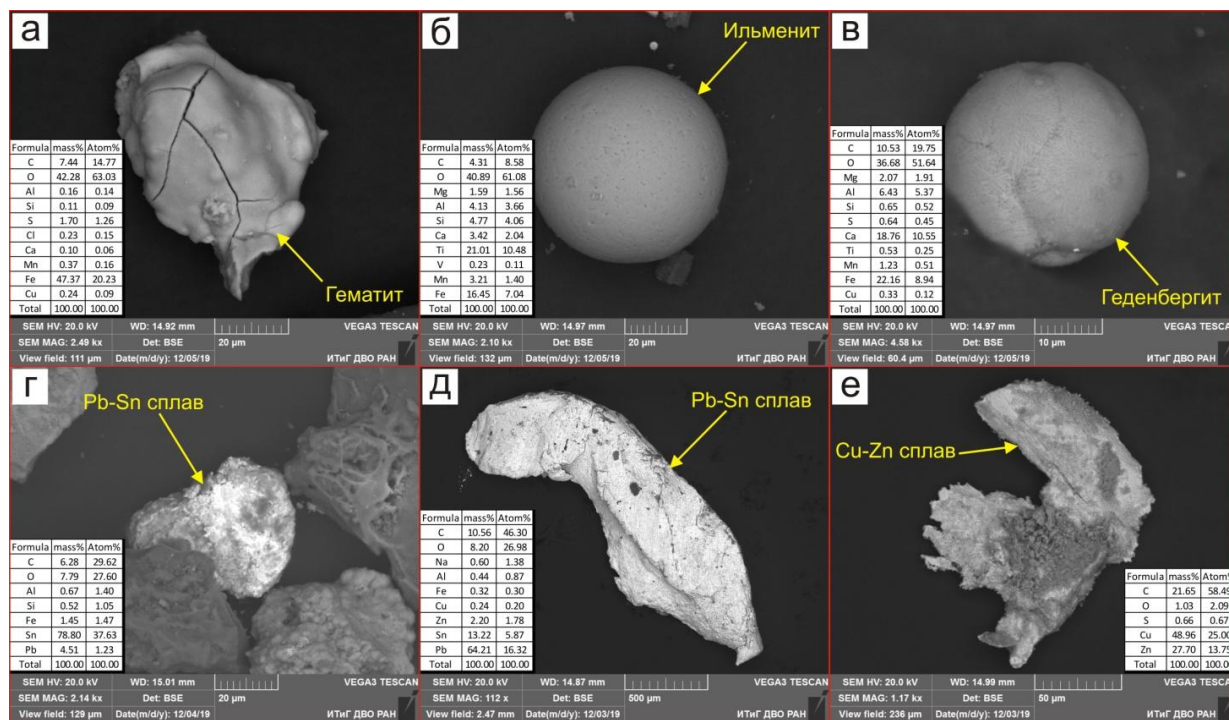


Рис. 4. Гематит (а), ильменит (б), геденбергит (в), сплавы Pb и Sn (г, д), Cu и Zn (е) в шламе Райчихинского месторождения.

Таким образом, установлено:

1. Во фракциях, выделенных из первичных углей, присутствуют обломки горных пород, и рудных минералов. Среди последних установлены апатит, сфен, магнетит, циркон, ильменит, гранат, корунд, эпидот, серицит, хлорит, арсенопирит и др. Дополнительно, с помощью SEM/EDS анализа, были обнаружены пирротин, галенит, микросферы фламбоидального пирита.
2. В продуктах сгорания углей установлен схожий минеральный состав с дополнением из частиц самородной меди, золота, серебра, гематита, геденбергита и сплавов Pb-Sn и Cu-Sn.
3. Большинство вышеприведенных минералов присутствует в питающих провинциях Туранского массива, что подтверждает их связь в качестве исходных продуктов, поступивших в угли в процессе миграции.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-27-00116.

Литература

1. Вялов В.И., Богомолов А.Х. и др. Угольные месторождения Дальнего Востока России и ресурсный потенциал содержащихся в них ценных металлов // Георесурсы. 2017. Спецвыпуск. Ч. 2. С. 256-262.
2. Сорокин А.П., Чантурия В.А. и др. Нетрадиционные типы благородно-, редкометалльного и редкоземельного оруденения в угленосных бассейнах Дальнего Востока // ДАН, 2012. Т. 446. № 6. С. 672-676.
3. Сорокин А.П., Белозеров Н.И. и др. Формы нахождения и условия переноса рудных компонентов в бурые угли в зонах контрастных форм сопряжения осадочных бассейнов и горно-складчатых сооружений (на примере Зейско-Буреинского бассейна и Туранского массива) (Дальний Восток, Россия) // Тихоокеанская геология. 2021. Т. 40. № 5. С. 33-43.
4. Сорокин А.П., Чантурия В.А. и др. Морфологические характеристики благородных металлов в продуктах сгорания углей Архаро-Богучанского месторождения (Приамурье) // Химия твердого топлива. 2020. №4. С. 8-20.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПОВЫШЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДАХ ПРИ ПОСЛОЙНОМ СЖИГАНИИ ТОПЛИВА

А.П. Сорокин, *sorokinap@ignm.ru*, О.А. Агеев

Институт геологии и природопользования ДВО РАН, г. Благовещенск

Введение

Применение слоевых топок является наиболее экономически оправданным способом для сжигания крупнокускового твердого топлива в котельнях средней и малой мощности, поэтому технология получила широкое распространение на котельных сферы ЖКХ. Для изучения процесса переноса и распределения микрокомпонентов в продукты сжигания угля (ПСУ) образующихся при послойном сжигании угля в различных режимах использован Экспериментально-технологический комплекс (ЭТК «Амур») [1]. Особенностью комплекса является возможность раздельного получения ПСУ в виде топочного шлака, сухой золы уноса и продуктов мокрой очистки дымовых газов (фильтровальный шлак и техногенная вода).

Цель проведения экспериментов – изучение процесса переноса и распределения РЗЭ в ПСУ при сжигании бурого угля Ерковецкого месторождения в слоевых топках в различных режимах и определение наиболее перспективных фракций ПСУ для промышленного извлечения РЗЭ.

Эксперимент № 1 (Эк.1). Получение фракции золы угля методом озоления.

Цель. Установить содержание РЗЭ в озоленной фракции угля.

Методика Золу для анализа получали медленным озолением навески угля 500 г. в муфельной печи при температуре 815°C согласно ГОСТ 11022-95 в течении 2 часов до постоянной массы. Взвешивали зольный остаток, рассчитывали показатель зольности и отбирали пробу золы (ОУ) для ICP-MS анализа, результаты анализов в таблице 1.

Эксперимент № 2 (Эк.2). Сжигание угля на ЭТК «АМУР» в плотном слое.

Цель. Установить содержание РЗЭ в разделенных фракциях ПСУ при сжигании угля в плотном слое.

Методика. Принцип работы ЭТК «Амур» подробно описан [2]. В данном эксперименте выполнено экспериментальное моделирование технологии сжигания угля применяемой на котельнях ЖКХ средней и малой мощности. Для этого воздух для горения нагнетался под колосниковую решетку через зазоры между колосниками со скоростью не влияющую на устойчивость пласта угля, то есть сила тяжести горящих частиц превышала динамический напор воздуха. Сжигание 251 килограмма угля происходило в покоем слое. Результаты анализов шлака (ШТ), усредненные результаты анализов золы уноса (Зу) и усредненные результаты анализов продуктов мокрой очистки дымовых газов (Шл) в табл. 1.

Эксперимент № 3 (Эк.3). Сжигание угля на ЭТК «АМУР» в кипящем слое.

Цель. Установить содержание РЗЭ в разделенных фракциях ПСУ при сжигании угля в кипящем слое.

Методика. Для моделирования процесса формирования высокотемпературного кипящего слоя с дожиганием продуктов неполного сгорания и создания специальной аэродинамики в топочной камере конструкция ЭТК «Амур» была дооборудована увеличенной по размерам топочной камерой, камерой дожига летучих соединений топлива, системой подвода вторичного воздуха и системой охлаждения дымовых газов. Эти изменения конструкции позволили производить регулируемое сжигание топлива в топочной камере в режиме кипящего слоя. Принцип работы метода: - При подаче воздуха дутьевым вентилятором под колосниковую решетку плотный слой топлива, при определенных скоростях воздуха, начинает расширяться, частицы топлива приходят в движение, совершая возвратно-

поступательное колебание по высоте слоя. Частицы находятся в равновесии между силой тяжести и гидравлическим сопротивлением в потоке газа. Слой переходит во взвешенное состояние, приобретает вид кипящей жидкости. Происходит активное перемешивание первичного воздуха с топливом, благодаря чему горение топлива интенсифицируются. По мере выгорания мелкие частицы выносятся из топочной камеры в камеру дожигания, где интенсивно обдуваются вторичным воздухом, что способствует высокой скорости их сжигания. [3].

Сжигание 52 килограмм угля происходило в кипящем слое. Результаты анализов шлака (ШТ), золы уноса (Зу), и усредненные результаты анализов продуктов мокрой очистки дымовых газов (Шл) в таблице 1.

Обсуждение результатов

Полученные ПСУ исследовались в Хабаровском инновационно-аналитическом центре Института тектоники и геофизики им. академика Ю.А. Косыгина (ИТиГ) ДВО РАН методом масс-спектрометрического анализа (ICP-MS) (таб. 1).

Таблица 1 – Содержание редкоземельных элементов в продуктах сгорания угля Ерконецкого месторождения (г/т)

Элементы	Озоленный уголь	ПСУ при сжигании в плотном слое			ПСУ при сжигании в кипящем слое		
	ОУ	ШТ	Зу	Шл	ШТ	Зу	Шл
Sc	12,96	8,34	8,77	2,83	7,63	9,71	5,90
Y	85,25	104,76	67,66	22,99	55,87	94,94	63,73
La	103,51	63,66	55,28	25,20	60,25	105,00	59,98
Ce	169,49	104,43	104,13	46,41	111,18	196,73	130,92
Pr	15,34	10,05	10,79	4,52	10,70	18,95	13,20
Nd	59,71	34,71	41,57	17,02	40,41	74,59	54,49
Sm	11,30	6,06	7,89	3,42	7,72	14,60	11,03
Eu	2,21	1,42	1,58	0,68	1,49	2,79	2,20
Gd	14,53	11,56	8,49	4,19	9,75	18,30	13,17
Tb	1,87	1,84	1,38	0,61	1,28	2,33	1,72
Dy	10,70	9,44	8,24	3,60	7,55	13,29	1,39
Ho	2,21	2,33	1,71	0,78	1,57	2,65	1,90
Er	6,92	8,58	5,14	2,57	4,83	8,03	5,64
Tm	0,93	1,21	0,71	0,34	0,66	1,09	0,75
Yb	5,86	6,82	4,66	2,04	4,23	6,94	4,73
Lu	0,87	0,93	0,70	0,30	0,62	1,02	0,69
Σ	503,66	376,14	328,70	137,50	325,74	570,96	371,44

Обозначение: ОУ - озоленный уголь, ШТ - шлак топочный, Зу. – зола уноса, Шл.- шлак.

При сжигании угля слоевым способом РЗЭ, преимущественно накапливаются в топочном шлаке в виде сплавленных и спекшихся частиц.

При сжигании в плотном слое в шлаках концентрируется 88,56 % РЗЭ, при содержании 376,14 г/т. Легкие и мелкие частицы за счет движения дымовых газов уносятся из топки и улавливаются золоуловителем. Эти частицы являются золой уноса. При среднем содержании 328,70 г/т. в золе уноса концентрируется 8,0% РЗЭ, в продуктах мокрой очистки дымовых газов концентрируется 3,44% РЗЭ при среднем содержании 137,50 г/т. Среднее содержание РЗЭ в ПСУ = 351,10 г/т.

При сжигании угля в режиме кипящего слоя в шлаках концентрируется 87,49% РЗЭ, при содержании 325,74. В золе уноса концентрируется 9,66 % при содержании 570,96 г/т РЗЭ. Наиболее мелкая, летучая часть золы уноса, улавливается в процессе мокрой очистки дымовых газов в скруббере. В шлаке содержится 2,85% РЗЭ при среднем содержании 371,44 г/т. Среднее содержание РЗЭ в ПСУ = 341,70 г/т.

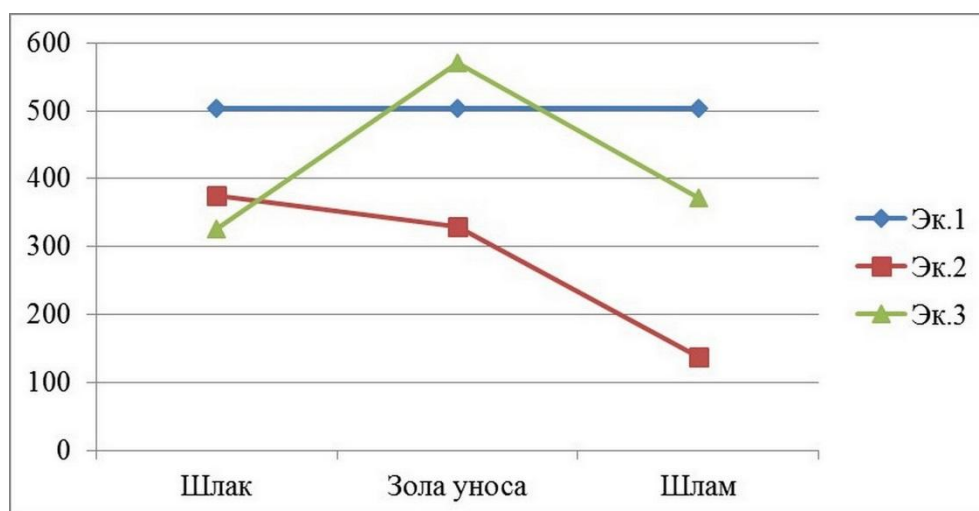


Рис. 1. Содержание РЗЭ в ПСУ.

ВЫВОДЫ

1. Способ сжигания угля и технология очистки дымовых газов являются определяющими факторами распределения микрокомпонентов в ПСУ. При послойном сжигании бурого угля тяжелые минеральные примеси образуют топочный шлак, в котором происходит преимущественное накопление РЗЭ. Легкие и мелкие частицы во взвешенном состоянии уносятся из топки в золоуловитель, где происходит осаждение золы уноса. В золе уноса, при сжигании угля в кипящем слое, наблюдается максимальное содержание РЗЭ (рис.1; таб.1).

2. Анализ содержаний РЗЭ в шлаке, золе уноса и продуктах мокрой очистки дымовых газов позволяет выделить наиболее перспективные для промышленного извлечения РЗЭ фракцию – золу уноса, полученную при сжигании угля в кипящем слое.

3. Повышенное содержание РЗЭ в озоленном угле (503,66 г/т) по сравнению со средними значениями при послойном сжигании (351,10 г/т и 341,70 г/т), свидетельствуют о присутствии в ПСУ большого количества недожога. При улучшении технологии сжигания угля содержание РЗЭ в ПСУ увеличится пропорционально уменьшению недожога в ПСУ.

4. Предложенная технология комбинированной очистки дымовых газов решает и экологическую задачу – уменьшение вредных выбросов в атмосферу.

Литература

1. Сорокин А.П., Агеев О.А. Устройство для получения разделенных продуктов сгорания углей. Пат. 2699642 РФ // Б.И. 2019. № 25. С. 9.
2. Агеев О.А., Сорокин А.П., Борисов В.Н. Зубенко И.А., Трухин В.И. Экспериментально-технологический комплекс «Амур» для получения разделенных продуктов сгорания углей // Комплексное использование потенциала каменных и бурых углей и создание комбинированных экологически безопасных технологий их освоения, 19-22 сент. 2017 г., Благовещенск: [сб. докл.]. Благовещенск: АмурНЦ ДВО РАН, 2017. С.117-121.
3. Агеев О.А., Борисов В.Н., Абрамов В.В. Технология сухого гравитационного обогащения золы уноса с вторичным сжиганием летучих элементов топлива // Вопросы геологии и комплексного освоения природных ресурсов Восточной Азии, 02-04 окт. 2018 г. Благовещенск: [сб. докл.]. Благовещенск: ИГиП ДВО РАН. 2018. Т. 2. С. 59-62.

СТРАТЕГИЧЕСКИЕ МЕТАЛЛЫ В ПРОДУКТАХ СЖИГАНИЯ УГЛЕЙ ЕРКОВЕЦКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (ПРИАМУРЬЕ, ДАЛЬНИЙ ВОСТОК)

А.П. Сорокин, *sorokinar@ignm.ru*, О.А. Агеев

Институт геологии и природопользования ДВО РАН, г. Благовещенск

Введение

Перечень основных видов стратегического минерального сырья утвержден распоряжением Правительства Российской Федерации от 16.01.1996 № 50-р. «Об основных видах стратегического минерального сырья». К ним отнесены литий, бериллий, титан, хром, марганец, кобальт, никель, медь, германий, цирконий, ниобий, молибден, олово, сурьма, тантал, вольфрам, рений, ртуть, свинец, уран, золото, серебро, платиноиды, скандий и редкие земли иттриевой группы [1]. Согласно отчету Счетной палаты РФ по итогам проверки эффективности управлением государственным фондом недр за 2018-2020 годы, Россия обеспечивает внутренний спрос за счет собственного производства и на собственной ресурсной базе по: меди, никелю, свинцу, молибдену, вольфраму, олову, цирконию, кобальту, платиноидам, золоту, серебру. Более трети стратегических видов минерального сырья и свыше 60% дефицитных видов полезных ископаемых Россия импортирует. По ряду металлов, в частности, по марганцу, хрому, титану и литию российские потребности полностью покрываются исключительно импортом, а по цирконию этот показатель составляет 87,2%. В условиях обострения противостояния России с западными странами это формирует риск возникновения перебоев в обеспечении потребностей отраслей черной и цветной металлургии, авиакосмической отрасли, химической промышленности и медицины [2].

В ИГиП ДВО РАН уже более двух десятилетий изучают альтернативные, по отношению к рудным месторождениям, сырьевые источники стратегических металлов. К ним, в том числе, относятся первичные угли Ерковецкого месторождения и продукты их сгорания (ПСУ). Впервые детально изучены минералого-геохимические особенности самородного золота и некоторых других микрокомпонентов, полученных отдельно в шлаке, золе уноса и шламе [3]. Исследованы концентрации редкоземельных и отдельных микроэлементов в ПСУ при послойном сжигании топлива [4].

Содержание стратегических металлов в продуктах сгорания углей

В настоящее время в ИГиП ДВО РАН продолжаются исследования влияния способа сжигания угля на распределение микроэлементов в продуктах сгорания углей (ПСУ). Экспериментально установлено, что способ сжигания угля и технология очистки дымовых газов являются определяющими факторами, влияющими на распределения микроэлементов в ПСУ. Ранее проведенные экспериментальные исследования показали, что при послойном сжигании топлива в плотном слое, содержание микроэлементов в шлаке, летучей золе и шламе практически одинаковое [4].

Для изучения процесса распределения микроэлементов в ПСУ, при сжигании угля в слоевой топке в режиме кипящего слоя, был использован модернизированный Экспериментально-технологический комплекс «Амур М» [5]. Комплекс позволяет получать отдельные ПСУ с низкотемпературным (600-850 °С) дожигом летучих соединений топлива в золоуловителе [6, 7]. В результате экспериментального сжигания 52 кг. Ерковецкого бурого угля получен шлак топочный (Шт) – 5,00 кг., зола уноса (Зу) – 0,31 кг., и продукты мокрой очистки дымовых газов – шлам (Шл) – 0,14 кг.

Анализ озоленного угля (Оу) и полученных ПСУ (таб.1) выполнен в Хабаровском инновационно-аналитическом центре Института тектоники и геофизики им. академика Ю.А. Косыгина ДВО РАН методом масс-спектрометрического анализа.

Таблица 1 – Содержание стратегических металлов в ПСУ (г/т).

Элементы	Оу	Шт	Зу	Шл
Стратегические рассеянные металлы				
Li	49,90	41,58	34,00	9,98
Be	10,00	6,46	8,75	6,27
Ti	3606,16	4037,05	5108,71	1580,03
Cr	152,20	28,49	208,66	118,36
Mn	2753,00	1787,18	4722,51	2707,69
Ge	0,23	0,19	1,13	1,15
Zr	146,28	150,74	173,45	78,56
Nb	13,32	9,93	13,82	5,15
Mo	13,05	4,60	24,88	18,31
Ag	0,50	0,40	1,02	0,62
Ta	0,83	0,56	0,89	0,31
W	9,30	5,50	14,10	3,12
U	7,30	5,02	5,25	2,47
Σ	6762,07	6077,70	10317,17	4516,32
Стратегические тяжелые цветные металлы				
Co	38,97	41,89	111,89	80,07
Ni	77,55	104,86	183,54	229,41
Cu	103,03	47,11	91,67	519,94
Sn	6,05	3,19	7,12	2,58
Sb	3,73	1,73	15,11	15,74
Hg	1,01	0,38	0,98	0,27
Pb	90,01	13,26	468,97	970,74
Σ ТЦМ	320,35	212,42	879,28	1818,75
Стратегические редкоземельные ΣРЗЭ+Sc+Y				
Sc	12,96	7,63	9,71	5,90
Y	85,25	55,87	94,94	63,73
Gd	14,53	9,75	18,30	13,17
Tb	1,87	1,28	2,33	1,72
Dy	10,70	7,55	13,29	1,39
Ho	2,21	1,57	2,65	1,90
Er	6,92	4,83	8,03	5,64
Tm	0,93	0,66	1,09	0,75
Yb	5,86	4,23	6,94	4,73
Lu	0,87	0,62	1,02	0,69
ΣРЗЭ+Sc+Y	142,10	93,99	158,30	99,62
Итого:	7224,52	6384,11	11354,75	6434,69

Обсуждение результатов

При послойном сжигании угля в различных режимах на ЭТК «Амур М» создаются технические условия, при которых получаем ПСУ с различными физическими свойствами и разнообразным минералогическим и химическим составом. При сжигании угля в режиме кипящего слоя происходит вынос дымовыми газами микрокомпонентов из области спекания и шлакования (топочные шлаки образуются при температуре более 900 °С) в зону низкотемпературного дожигания (в золоуловителе температура 600-850 °С). Применение комбинированной системы очистки дымовых газов (золоуловитель и мокрый скруббер) позволяет перераспределять летучую золу по фракциям (размерным, плотностным и др. параметрам). Технология очистки дымовых газов сохраняет золу уноса сухой, что значительно сокращает объем химически агрессивного жидкотекучего шлама.

В золе уноса, при сжигании угля в кипящем слое, наблюдается максимальное содержание стратегических металлов (СМ) и стратегических редкоземельных элементов (СРЗЭ) (таб. 1, рис. 1).

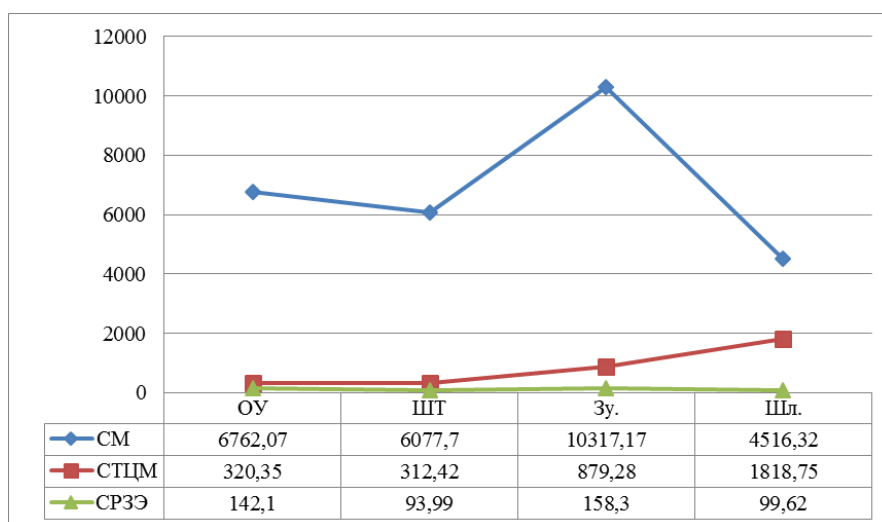


Рис.1 Содержание стратегических металлов в ПСУ

Основным механизмом формирования наиболее мелкой субмикронной части летучей золы считается освобождение органоминеральных металлов из органических соединений в процессе сгорания углей и их конденсация при снижении температуры газового потока. В процессе мокрой очистки дымовых газов в скруббере температура газового потока понижается до 80 °С, что способствует конденсации стратегических тяжелых цветных металлов в шламе (табл. 1, рис. 1).

Выводы

1. Анализ содержаний стратегических металлов в шлаке, золе уноса и продуктах мокрой очистки дымовых газов, при сжигании угля в кипящем слое, позволяет выделить наиболее перспективные для промышленного извлечения фракции: золу уноса для извлечения стратегических металлов, стратегических редкоземельных элементов и шлам для извлечения стратегических тяжелых цветных металлов.

2. Предложенная технология раздельного получения ПСУ при послойном сжигании угля в режиме кипящего слоя и комбинированная очистка дымовых газов решает важнейшую экологическую задачу – уменьшение вредных выбросов в атмосферу.

Литература

1. Российская Федерация. Правительство. Об основных видах стратегического минерального сырья: Распоряжение Правительства РФ от 16.01.1996 № 50-р [Собрание законодательства Российской Федерации, 1996, № 4, ст. 390].
2. Структура и характер зависимости РФ от импорта стратегического сырья // МОСКВА, 18 июля 2021, Институт РУССТРАТ.
3. Сорокин А.П., Конюшок А.А., Агеев О.А., Кузьминых В.М. Минералого-геохимические особенности самородного золота в продуктах сгорания углей Ерковецкого месторождения (Верхнее Приамурье) // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2019. № 4. С. 141-150.
4. Sorokin A.P., A.A. Konyushok, O.A. Ageev, N.V. Zarubina V.V. Ivanov, J. Wang. Distribution of rare earth and selected trace elements in combustion products of Yerkovetskoe brown coal deposit (Amur Region, Russia) // Energy Exploration & Exploitation. 2019. Vol. 37(6). P. 1721–1736.
5. Сорокин А.П., Агеев О.А. Устройство для получения разделенных продуктов сгорания углей. Пат. 2699642 РФ // Б.И. 2019. № 25. С. 9.
6. Агеев О.А., Сорокин А.П., Борисов В.Н. Зубенко И.А., Трухин В.И. Экспериментально-технологический комплекс «Амур» для получения разделенных продуктов сгорания углей // Комплексное использование потенциала каменных и бурых углей и создание комбинированных экологически безопасных технологий их освоения, 19-22 сент. 2017 г. Благовещенск [сб. докл.]. Благовещенск: АмурНЦ ДВО РАН. 2017. С. 117-121.
7. Агеев О.А., Борисов В.Н., Абрамов В.В. Технология сухого гравитационного обогащения золы уноса с вторичным сжиганием летучих элементов топлива // Вопросы геологии и комплексного освоения природных ресурсов Восточной Азии, 02-04 окт. 2018 г. Благовещенск: [сб. докл.]. Благовещенск: ИГиП ДВО РАН. 2018. Т. 2. С. 59-62.

УСЛОВИЯ ПРИБРЕЖНОГО ОСАДКОНАКОПЛЕНИЯ НА ЮГЕ ПРИМОРЬЯ В ГОЛОЦЕНЕ

Е.А. Элбакидзе, *Ekato21@mail.ru*

Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, г. Владивосток

Активный научный интерес вызывают отложения водоемов, находящихся в контактной зоне суша-море, поскольку они могли зафиксировать конкретные этапы морских трансгрессий и регрессий, являясь при этом надёжными источниками информации о динамике этих процессов. Таким водоемом является второе по величине в Приморском крае оз. Птичье (Тальми), расположенное в Хасанском районе (рис.1). Это солоноватоводное, мелководное (глубиной до 2 метров) озеро (площадь 38 км²) отделено от моря песчаной косой и сообщается с ним системой проток. Во время половодий обменивается водой с рекой Туманной [1].

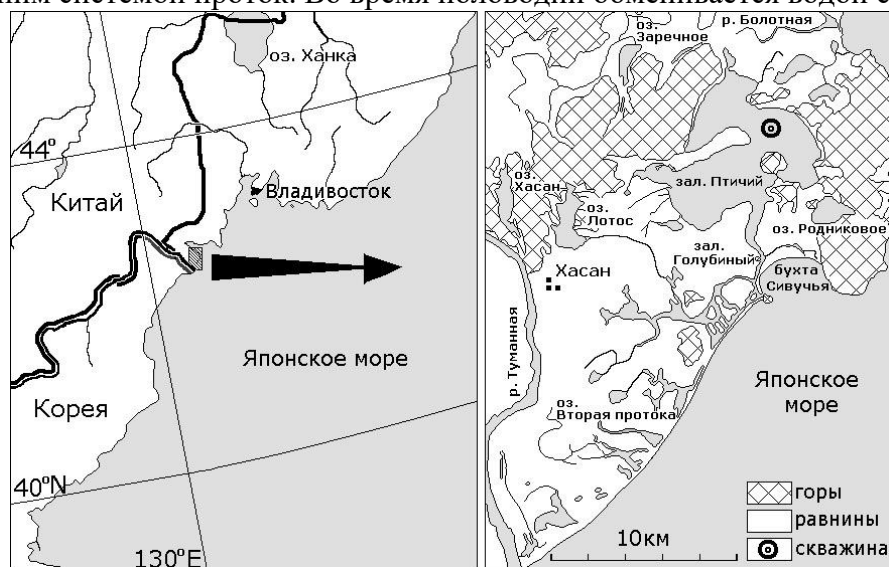


Рис.1 Схема расположения скважины

Материалом для данного исследования послужила колонка Т6-5 (42°31'37"N 130°44'27"E, длина – 1350 см), пробуренная в северной части озера Птичье (7.5 км от береговой линии). Осадки скважины представлены илами, песками и глинами. Из осадков скважины методом диатомового анализа изучено 40 проб. Техническая обработка проводилась по стандартной методике [2]. Определение видового состава водорослей и подсчет створок в препарате проводили с помощью светового микроскопа ZEISS Axio Lab. A1. В работе использована систематика диатомей согласно международной диатомовой базе Algaebase (<https://www.algaebase.org>). Для построения диатомовой диаграммы и выделения диатомовых зон применялась программа Tilia (<http://www.tiliait.com>) и вспомогательная программа Coniss, основанная на кластерном анализе. С помощью радиоуглеродного датирования по раковинам моллюсков из осадков скважины получены данные, свидетельствующие о том, что они были сформированы в среднем голоцене [4]. Средний голоцен, является не только периодом максимального потепления, но и отмечается повышением уровня моря до 2–2.5 м, при этом и климат, и уровень моря в течение этого времени не были постоянными [3, 5–10]. Диатомовая флора представлена 135 видами и внутривидовыми разновидностями, которые представлены следующими экологическими группами:

- морские пелагические (МП);
- морские неритические (МН);
- морские сублиторальные планктонные (МСП);
- морские сублиторальные бентосные (МСБ);
- солоноватоводные планктонные (СВП);
- солоноватоводные бентические (СВБ);
- пресноводные (ПВ).
- переотложенных таксонов (ПО).

Основываясь на неоднократной смене доминирующих таксонов и изменений в экоструктурах комплексов, были выделены три диатомовых зоны (tDZ1, tDZ2, tDZ3).

Комплекс зоны tDZ1 (1330–1005 см) характеризуется обилием таксонов из групп МСБ (до 61.1%) и МН (до 40.2%). Из МСБ-группы доминирует – *Tryblionella compressa* (29.7%), *Diploneis smithii* – представитель песчаных мелководий (25.4%) и *Diploneis subcincta* (18.1%). ПВ-группу представляют (38.2%) – *Pinnularia brevicostata* (13.5%), *Epithemia adnata* (6,6%). Группа ПО диатомей (19.3%) представлена *Aulacoseira praegrnulata* (19.1%).

Зона tDZ2 (1005–460 см) фиксирует доминирование групп МН (70.2%) и МСБ (50.8%). Особенно отмечаются – *Actinoptychus senarius* (59.3%), *Porosira glacialis* (15.9%), *Diploneis smithii* (32.5%), *Tryblionella compressa* (21.3%). Суммарное количество встреченных ПВ форм (20.2%) доминант – *Epithemia adnata* (8.7%). Из группы ПО (16.3%) доминирует – *Aulacoseira praedistans* (12.9%).

В осадках зоны tDZ3 (460–165 см) отмечается относительное уменьшение концентрации створок. Фиксируется понижение количества МН видов (52.0%) – *Actinoptychus senarius* (23.0%), *Chaetoceros* ssp. (13.7%), *Thalassiosira tenera* (7.7%), *Porosira glacialis* (6.1%), и рост группы МСБ (48.8%) – *Diploneis smithii* (26.5%), *Arachnoidiscus ehrenbergii* (7.7%) и *Tryblionella compressa* (7.7%). Группа ПВ (21.7%) и ПО (11.7%) представлена – *Stauroneis phoenicenteron* (4.6%) и планктонной *Aulacoseira praegrnulata* (11.5%) соответственно.

Таким образом, на основе изучения диатомовых водорослей были восстановлены условия осадконакопления в палеоводоеме. Существенное присутствие МН видов во всех диатомовых зонах свидетельствует о том, что осадконакопление происходило в бухте. Зона tDZ1 свидетельствует о формировании отложений во время начала повышений уровня моря в среднем голоцене, о чем говорит доминирование МСБ группы. Увеличение численности МН таксонов во время формирования зоны tDZ2 свидетельствует о максимальном повышении уровня моря выше современного (около 1.5 м) в голоцене. Уменьшение количества створок группы МН и увеличение числа группы МСБ выше по разрезу (tDZ3), свидетельствует о понижении уровня моря и обмелении водоема. Такое обмеление приводило к существенному прогреву воды в бухте в летний период, что подтверждается присутствием тропического вида *Terpsinoë americana*, характерного для хорошо прогреваемых мелководий. Присутствие створок ПВ диатомей в осадках скважины говорит об активном воздействии стока реки Туманной. Диатомовые комплексы четко отражают фациально-сукцессионные фазы своего развития: закрытая мелководная бухта – открытая более глубокая бухта – закрытая мелководная бухта.

Литература

1. Ганешин Г.С. Геоморфология Приморья. Л.: Госгеолтехиздат, 1957. 105 с.
2. Диатомовые водоросли СССР (ископаемые и современные). Л. «Наука», 1974. Т.1. С. 63–79.
3. Короткий А.М., Плетнёв С.П., Пушкар В.С. и др. Развитие природной среды юга Дальнего Востока (поздний плейстоцен – голоцен). М.: Наука, 1988. 240 с.
4. Микишин Ю.А., Петренко Т.И., Гвоздева И.Г. и др. Голоцен побережья Юго-западного Приморья // Научное обозрение, 2008. № 1, С. 8–27.
5. Марков Ю.Д., Лихт Ф.Р., Деркачев А.Н., Уткин И.В., Боцул А.И., Пушкар В.С., Иванова Е.Д., Евстигнеева Т.А., Евсеев Г.А. Осадки затопленных долин шельфа Восточно-Корейского залива - индикаторы палеогеографических условий голоцена // Тихоокеанская геология. 2008. Т. 27. № 3. С. 74 - 92.
6. Пушкар В.С. Биостратиграфия осадков позднего антропогена юга Дальнего Востока (по данным диатомового анализа). М.: Наука, 1979. 140 с.
7. Хотинский Н.А. Голоцен Северной Евразии. М.: Наука, 1977. 182 с.
8. Элбакидзе Е.А. Масштабы голоценовой ингрессии Японского моря в Южном Приморье // Тихоокеанская геология. 2014. Т. 33, № 2. С. 102-109.
9. Элбакидзе Е.А., Петухова М.В. Диагностика экологической дестабилизации окружающей среды на основе изучения морфологических особенностей диатомовой и палинологической флоры реки Неприметная (Южное Приморье) // Асимметрия. 2018. Т. 12, № 1. С. 63-70.
10. Lozhkin, A. V., Cherepanova, M. V., Anderson, P. M., Minyuk, P. S., Finney, B. P. Glukhoye Lake: Middle to Late Holocene environments of Kunashir Island (Kuril Archipelago, Russian Far East) // Boreas. 2022, Vol. 51, No. 2. P. 364–384.

**ОПТИМИЗАЦИЯ ЭКСТРАКЦИОННО-АТОМНО-АБСОРБЦИОННОГО
ОПРЕДЕЛЕНИЯ НИЗКИХ СОДЕРЖАНИЙ ЗОЛОТА В МИНЕРАЛЬНОМ СЫРЬЕ**

Н.А. Бородина *Borodina53@yandex.ru*

Институт геологии и природопользования ДВО РАН, Благовещенск

При количественном определении золота в горных породах, рудах и продуктах их переработки широкое распространение получили экстракционно-атомно-абсорбционные методы анализа. Это особенно актуально при определении низких содержаний золота. [4].

Целью нашей работы являлось усовершенствование методики НСАМ № 237–С «Экстракционно-атомно-абсорбционное определение золота с органическими сульфидами» [3] для низких содержаниях золота в минеральном сырье.

Методика заключается в кислотном разложении предварительно обожженной пробы и экстракционном концентрировании золота из солянокислого раствора толуольным раствором органических сульфидов. Обжиг пробы необходим для удаления органических веществ и серы. В качестве экстрагента золота используются 0,1 М растворы сульфидов нефти в толуоле. Они являются высокоселективными экстрагентами, т.к. совместно с золотом частично извлекается только палладий, и то только при его содержании в растворе более 10 мкг/мл.

Остальные рекомендуемые экстрагенты, не имеют такой селективности. Например, изоамиловый спирт извлекает из раствора помимо золота и остальные металлы, в том числе железо, которое приводит к завышению результатов по золоту. В методике указано, что химический состав проб не влияет на определение, исключение составляют лишь объекты, содержащие графит (если экстракты направляются дальше на спектральный анализ).

Важным моментом при определении золота в геологических объектах является разложение анализируемой пробы и перевод элемента в раствор. Разложение обожженных проб производится в «царской водке», т.е. смеси концентрированных азотной и соляной кислот в соотношении 1:3, при нагревании. Однако, если золото связано с кварцем, данное кислотное разложение не эффективно, т.к. элемент не полностью извлекается из образца. Золото в минералах находится или в атомарном, или в тонкодисперсном виде. Тонкодисперсное золото растворяется в «царской водке», атомарное золото может находиться внутри так называемых кварцевых рубашек, разрушить которые данной смесью кислот невозможно, что является причиной неполного его извлечения [2]. Согласно [1], при наличии кварца в породе разложение смесью HCl и HNO₃ приводит к образованию осадка, сорбирующего золото и препятствующего переходу его в раствор.

Методика извлечения и определения золота отрабатывалась на пробах разных типов горных пород. Рентгенофлуоресцентный анализ анализируемых образцов показал высокие содержания SiO₂, что позволяет их отнести к кварцевым рудам. Чтобы разрушить силикатную основу и перевести золото в раствор пробу обрабатывали смесью фтористоводородной, азотной и соляной кислот.

Для сравнения двух способов пробоподготовки проводили параллельные анализы с предварительной обработкой золотосодержащих образцов плавиковой кислотой и без нее.

Согласно Инструкции НСАМ № 237–С, перед кислотным разложением образцы подвергали окислительному обжигу. Навеску проб (5 г) прокаливали в муфельной печи при температуре 600°C в течение 1,5 часов для удаления серы, органики и разрушению отдельных минералов, содержащих золото. Остывшие пробы обрабатывали смесью азотной и соляной

кислот в соотношении 1:3 при нагревали до 90°C. Золото экстрагировали 0,1 М раствором сульфида нефти в толуоле (соотношение водной и органической фаз равно 1:30).

По второму способу пробоподготовки образцы после обжига обрабатывались сначала фтористоводородной кислотой в объеме 10 мл, с последующим ее выпариванием. Такая обработка приводит к разрушению силикатных породообразующих минералов: $\text{SiO}_2 + 4\text{HF} = \text{SiF}_4\uparrow + 2\text{H}_2\text{O}$. Далее проводили обработку проб согласно Инструкции НСАМ № 237-С.

Абсорбцию золота измеряли на атомно-абсорбционном спектрофотометре Solaar M 6 с электротермическим атомизатором «THERMO ELECTRON CORPORATION», США. За результат анализа принимали среднее арифметическое значение двух параллельных определений золота из отдельных навесок.

В качестве образцов сравнения использовали стандартные образцы (ГСО) с установленным содержанием золота. Примеры нескольких результатов анализов приведены в таблице.

Таблица. Результаты определения золота при различных способах разложения проб

Образец	Au, г/т		Потери Au, % отн.
	Реагенты: $\text{HNO}_3 + \text{HCl}$ (3:1)	Реагенты: $\text{HF}, \text{HNO}_3 + \text{HCl}$ (3:1)	
Дациандезит	0,06	0,77	92
Гранит окварцованный	0,05	0,41	88
Метасоматит	<0,005	0,32	98
Сланец	<0,005	0,047	90
Песчаник	2,99	3,80	21
Окварцованный сланец	1,35	1,99	32
Сульфидизированный кварц	1,70	1,23	28

Из данных таблицы следует, что при обработке проб «царской водкой» идет неполное извлечение золота, его потери доходят до 98 %. Минимальные потери наблюдаются при обработке проб смесью $\text{HF}, \text{HNO}_3 + \text{HCl}$ (1:3). С повышением содержания золота в пробе степень его извлечения возрастает. Потеря золота обусловлена неполным его растворением, если частицы золота находятся внутри силикатной основы, которая не разрушается «царской водкой».

Таким образом, усовершенствована экстракционно-атомно-абсорбционная методика определения золота в геологических пробах с использованием в качестве экстрагента сульфидов нефти в толуоле для определения низких содержаний золота. Способ разложения проб определяется типом минерального сырья.

Литература

1. Бажов А.С., Зекки Л.Н., Клименкова Н.Б. Атомно-абсорбционное определение низких содержаний золота с использованием импульсного вольфрамового атомизатора. // Журнал аналитической химии. 1986. № 12. С. 2190-2198.
2. Злобина Е.В., Токташинова А.Ж. Усовершенствование химической подготовки геологических проб для определения золота. // Вестник Казахского национального ун-та им. Аль-Фараби. 2013. № 2. С. 119-125.
3. Инструкция НСАМ № 237-С. Экстракционно-атомно-абсорбционное определение золота с органическими сульфидами. Отраслевая методика III категории точности. М.:ВИМС, 1987.- 11с.
4. Юделевич И.Г., Старцева Е.А. Атомно-абсорбционное определение благородных металлов. – Новосибирск: Наука, 1981. – 159 с.

СВЯЗЫВАНИЕ ЗОЛОТА ИЗ РАСТВОРОВ ДИТИОКАРБАМАТАМИ ТАЛЛИЯ(I): СИНТЕЗ, СУПРАМОЛЕКУЛЯРНАЯ САМООРГАНИЗАЦИЯ И ТЕРМИЧЕСКОЕ ПОВЕДЕНИЕ ПСЕВДОПОЛИМЕРНЫХ ДИТИОКАРБАМАТНО-ХЛОРИДНЫХ КОМПЛЕКСОВ ЗОЛОТА(III)-ТАЛЛИЯ(III)

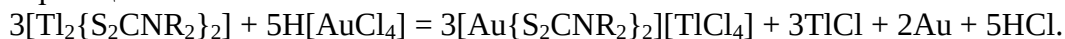
О.А. Бредюк, А.В. Иванов, oxabreduk@rambler.ru

Институт геологии и природопользования ДВО РАН, г. Благовещенск

Таллий, являющийся рассеянным элементом, одновременно проявляет литофильные и халькофильные свойства. Литофильное поведение таллия проявляется при замещении калия и рубидия в калиевом полевоом шпате, а образование многочисленных сульфидных минералов указывает на его халькофильные свойства. Известно около 40 различных минералов таллия, большинство из которых представляют собой сульфиды, хотя все они весьма редкие [1, 2]. Высокое сродство таллия(I) к сере обуславливает его выраженную способность к образованию комплексных соединений с серосодержащими дитиолигандами (дитиокарбаматами, алкилксантогенатами, дитиофосфатами), которые характеризуются низкими значениями произведений растворимости, развитой поверхностью, высокой концентрацией координационно ненасыщенных центров серы и устойчивостью в кислых средах. Все это позволяет рассматривать полимерные комплексы таллия(I) с дитиокарбаматными лигандами состава $[Tl_2(S_2CNR_2)_2]_n$ ($R = CH_3$ (**Ia**), C_2H_5 (**IIa**), C_4H_9 (**IIIa**), *iso*- C_4H_9 (**IVa**); $R_2 = (CH_2)_5$ (**Va**), $(CH_2)_6$ (**VIa**), $(CH_2)_4O$ (**VIIa**) в качестве потенциальных хемосорбентов для концентрирования и извлечения золота из растворов, включая технологические, с образованием дитиокарбаматно-хлоридных комплексов золота(III)-таллия(III) со сложноорганизованной супрамолекулярной структурой [3–6].

При взаимодействии порошков дитиокарбаматов таллия(I) (**Ia**–**VIIa**) с растворами $AuCl_3$ в 2М HCl, уже в первые минуты отмечается переформирование и желтое окрашивание осадков с одновременным обесцвечиванием рабочих растворов. Степень связывания золота из растворов свежесажденными дитиокарбаматами таллия(I) составляет более 95%. Результатом гетерогенных реакций связывания золота(III) из растворов, включающих частичный ионный обмен и окислительно-восстановительный процесс, является формирование ионно-полимерных золото(III)-таллиевых(III) комплексов, $[Au_2\{S_2CN(CH_3)_2\}_4][TlCl_4]_2$ (**I**), $[(Au(S_2CNR_2)_2)[TlCl_4]]_n$ ($R = C_2H_5$ (**II**), C_4H_9 (**III**), *iso*- C_4H_9 (**IV**); $R_2 = (CH_2)_5$ (**V**), $(CH_2)_6$ (**VI**), $(CH_2)_4O$ (**VII**) [3–6].

Взаимодействие комплексов таллия(I) с золотом(III) в 2 М HCl может быть представлено следующей реакцией:



Продукты реакции разделяли растворением осадков в органических растворителях (ацетон или ацетон-этанол (1:1)). Нерастворимые в органических растворителях $TlCl$ и Au образуют неоднородный тонкодисперсный порошок, который отделяли фильтрованием. Из желтых фильтратов при испарении растворителей получали кристаллы различной формы (призматической, игольчатой) для дальнейших экспериментальных исследований, включающих РСА и СТА.

По данным электронной микроскопии связывание Au^{3+} сопровождается существенным переформированием осадков хемосорбентов с изменением формы и размера частиц (рис. 1а, в). Кроме того, сравнительный анализ рентгенодисперсионных спектров позволяет отметить, что после связывания золота, наряду с характеристическими пиками Tl и S , в образцах комплексов дополнительно регистрируются пики Au и Cl (рис. 1б, г).

Кристаллические и супрамолекулярные структуры всех полученных новых соединений **I**–**VII** разрешены прямым методом РСА. В состав двойных золото(III)-таллиевых(III) комплексов входят плоско-тетрагональные катионы $[Au(S_2CNR_2)_2]^+$, в структуре которых

комплексобразователь S,S' -бидентатно координирует два дитиокарбаматных лиганда и искаженно-тетраэдрический анион $[\text{TlCl}_4]^-$ (атом таллия находится в состоянии sp^3 -гибридизации). В составе комплексов **I** и **VII** присутствует по одному нецентросимметричному катиону, в **II**, **III**, **V**, **VI** – по два структурно неэквивалентных комплексных катиона (А, В), в комплексе **IV** – три комплексных катиона (А, В, С), один из которых нецентросимметричный.

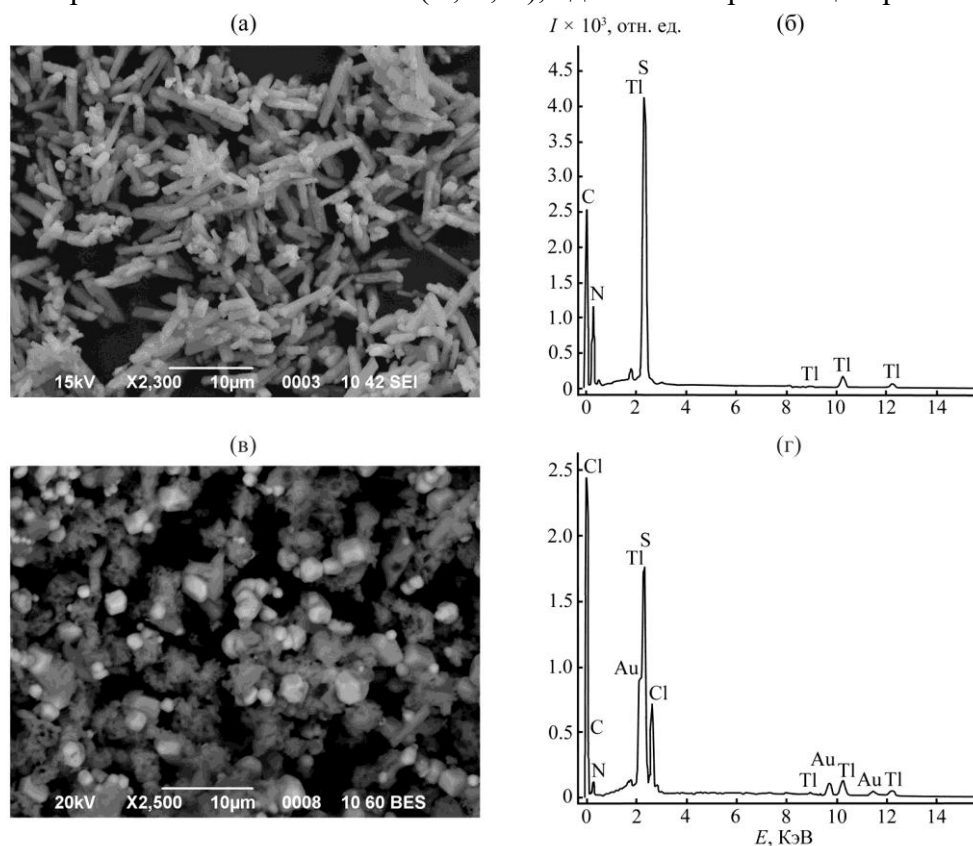


Рис. 1. Размер и форма частиц (а, в), энергодисперсионные спектры (б, г) комплексов $[\text{Ti}_2\{\text{S}_2\text{CN}(\text{C}_2\text{H}_5)_2\}_2]_n$ (**IIa**) (а, б) и $[\text{Au}\{\text{S}_2\text{CN}(\text{C}_2\text{H}_5)_2\}_2][\text{TlCl}_4]_n$ (**II**) (в, г).

В каждом комплексном катионе координация дитиокарбаматных лигандов приводит к образованию бициклической системы $[\text{CS}_2\text{AuS}_2\text{C}]$, включающей два четырехчленных металлоцикла с общим атомом золота. Малые размеры этих циклов характеризуются межатомными расстояниями $\text{Au}\cdots\text{C}$ (2.796–2.863 Å) и $\text{S}\cdots\text{S}$ (2.838–2.889 Å), значительно меньшими сумм ван-дер-ваальсовых радиусов соответствующих пар атомов: 3.36 и 3.60 Å [7]. Столь существенно сближенные позиции атомов золота и углерода могут объясняться существованием *транс*-аннулярного взаимодействия между ними (то есть, не через систему связей, а непосредственно через пространство металлоциклов) и высокой концентрацией π -электронной плотности внутри циклов. Геометрия хромофоров $[\text{AuS}_4]$ близка к плоско-тетрагональной, чему соответствует низкоспиновое внутриорбитальное dsp^2 -гибридное состояние атома золота. Структурные группировки S_2CNC_2 практически плоские за счет проявления мезомерного эффекта.

Во всех соединениях катионы золота(III) проявляют склонность к супрамолекулярной самоорганизации за счет вторичных связей $\text{Au}\cdots\text{S}$, формируя катионные псевдополимерные цепи $([\text{Au}(\text{S}_2\text{CNR}_2)_2]^+)_n$ (**II–VII**) или псевдодимерный катион $[\text{Au}_2\{\text{S}_2\text{CN}(\text{CH}_3)_2\}_4]^{2+}$ в случае **I** (рис. 2а). Например, структуры **II** и **IV** характеризуются построением зигзагообразных катион-катионных псевдополимерных цепей $(\cdots\text{A}\cdots\text{B}\cdots)_n$ и $(\cdots\text{A}\cdots\text{B}\cdots\text{C}\cdots\text{B}\cdots)_n$, по длине которых чередуются изомерные комплексные катионы золота(III) (рис. 2б). Последние связаны между собой парами несимметричных вторичных связей $\text{Au}\cdots\text{S}$ (3.6961 и 3.6910 Å – **II**, 3.583–3.718 Å – **IV**). В случае комплексов **V**, **VI** структурно-неэквивалентные центросимметричные катионы (А и В) объединяются вторичными связями $\text{Au}\cdots\text{S}$ 3.8295 Å (**VI**) или парами неэквивалентных

связей Au...S 3.809 и 3.920 Å (**V**) в линейные псевдополимерные цепи $(\cdots A \cdots B \cdots)_n$ (рис. 3а, б). Справа и слева полимерных цепей локализованы анионы $[\text{TlCl}_4]^-$.

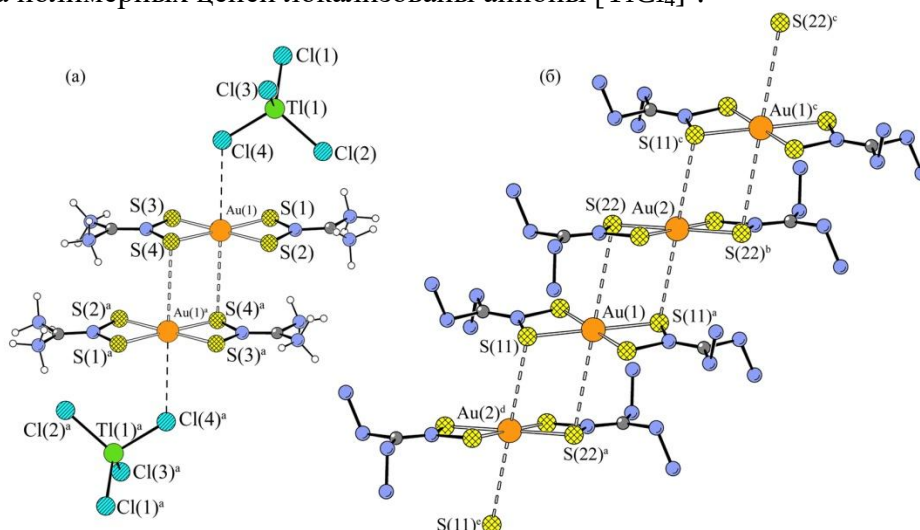


Рис. 2. Структурная организация комплексов **I** (а) и **II** (б) на супрамолекулярном уровне.

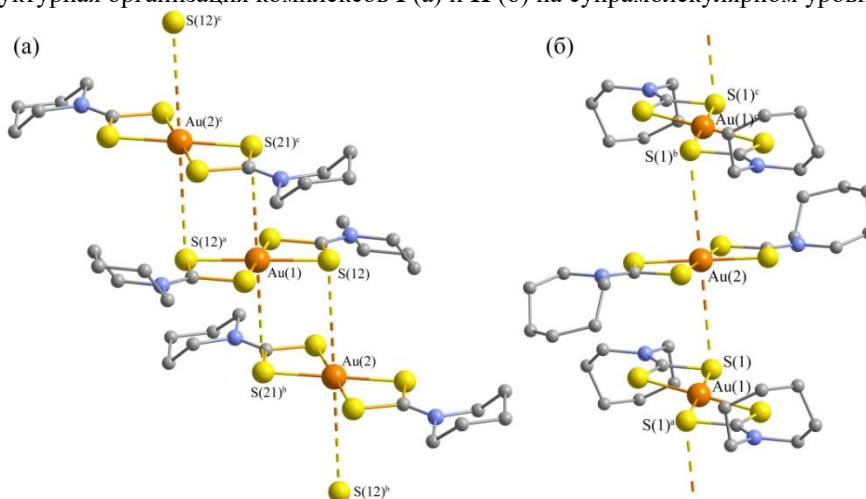


Рис. 3. Построение катионных псевдополимерных цепей в комплексах **V** (а) и **VI** (б).

На супрамолекулярном уровне необычное строение демонстрируют комплексы золота(III)-таллия(III) с бутил- (**III**) и морфолиндитиокарбаматными лигандами (**VII**). В структуре последнего пары более прочных вторичных связей Au...S 3.559 Å объединяют катионы золота(III) в димеры $[\text{Au}_2\{\text{S}_2\text{CN}(\text{CH}_2)_4\text{O}\}_4]^{2+}$ углового строения, структурное упорядочение которых достигается в катионной псевдополимерной цепи $([\text{Au}_2\{\text{S}_2\text{CN}(\text{CH}_2)_4\text{O}\}_4]^{2+})_n$ спирального типа, построенной при участии пар менее прочных связей Au...S 3.576 Å между соседними биядерными структурными единицами (рис. 4). Изомерные искаженно-тетраэдрические анионы $[\text{TlCl}_4]^-$ локализованы между полимерными цепями.

Исследование термического поведения комплексов **I–VII** методом СТА с одновременной регистрацией кривых ТГ и ДСК позволило выявить условия количественной регенерации связанного золота(III) и характер протекания термолитического разложения. Исследуемые соединения обнаруживают близкий характер термической деструкции, а именно включают преимущественно двухстадийные процессы потери массы. Первая стадия (143–335°C) обусловлена термолитическим разложением катионной и анионной части комплексов с восстановлением металлического золота и высвобождением хлорида таллия(I). (Выше 150°C термически неустойчивый TlCl_3 разлагается на хлор и TlCl [8].)

Вторая стадия (284–650°C) отражает испарение образовавшегося TiCl и десорбцию других продуктов термолiza. По окончании термолiza комплексов **I–VII** на дне тигля обнаружены мелкие шарики золота (по данным ДСК экстраполированные $t_{\text{пл}}$ лежат в диапазоне 1060.5–1063.0°C). На рис. 5 приведены кривые ТГ (1) и ДСК (2), отражающие термолиз комплекса **III**, а также укрупненный вид тигля (3) после окончания съемки и энергодисперсионный спектр финального продукта – восстановленного металлического золота (4).

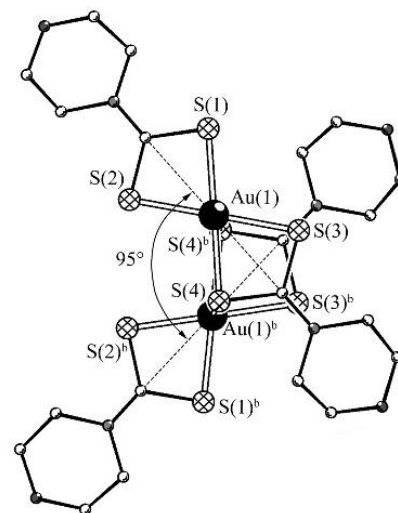


Рис. 4. Двухзвенный фрагмент катионной псевдополимерной цепи $[\text{Au}_2\{\text{S}_2\text{CN}(\text{CH}_2)_4\text{O}\}_4]^{2+}_n$ спирального типа.

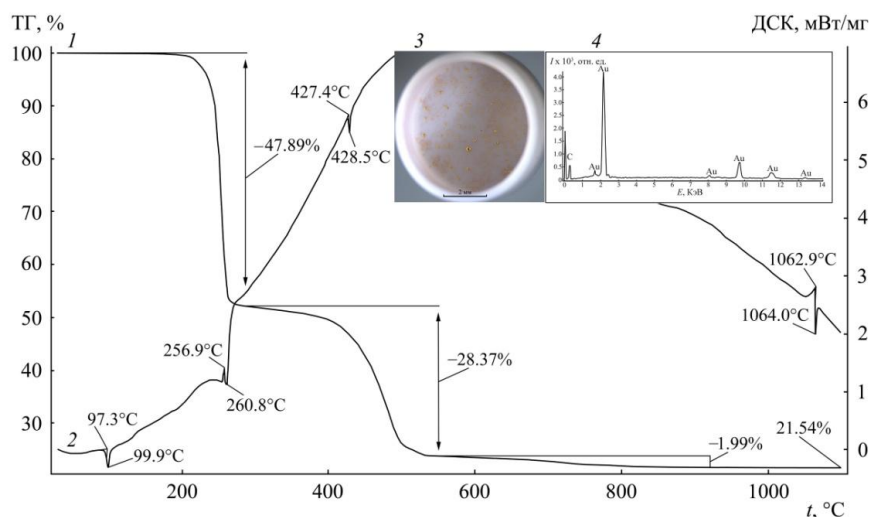


Рис. 5. Кривые ТГ (1) и ДСК (2) комплекса **III**. Укрупненный вид дна тигля с шариками золота после прохождения $t_{\text{пл}}$ (3). Энергодисперсионный спектр восстановленного золота (4).

Литература

1. Sahl K., Albuquergue C. A. R., Shaw D. M. Thallium. Handbook of Geochemistry. – Berlin: Springer-Verlag, 1978. V. 2–5. Ch. 81. – 60 p.
2. Bebie J., Seward T.M., Hovey J.K. Spectrophotometric determination of the stability of thallium (I) chloride complexes in aqueous solution up to 200°C // Geochim. Cosmochim. Acta. 1998. V. 62. № 9. P. 1643–1651.
3. Иванов А.В., Бредюк О.А., Лосева О.В., Родина Т.А. Форма хемосорбционного связывания золота(III) из растворов ди-изо-бутилдитиокарбаматом таллия(I): супрамолекулярная структура и термическое поведение полимерного комплекса золота(III)-таллия(III) состава $([\text{Au}\{\text{S}_2\text{CN}(\text{изо-C}_4\text{H}_9)_2\}_2][\text{TiCl}_4])_n$ // Коорд. химия. 2015. Т. 41. № 2. С. 107–116.
4. Иванов А.В., Бредюк О.А., Лосева О.В., Анцуткин О.Н. Синтез, супрамолекулярная самоорганизация и термическое поведение гетероядерных комплексов золота(III)-таллия(III) состава $([\text{Au}\{\text{S}_2\text{CN}(\text{CH}_3)_2\}_2][\text{TiCl}_4])_2$ и $([\text{Au}\{\text{S}_2\text{CN}(\text{C}_2\text{H}_5)_2\}_2][\text{TiCl}_4])_n$ // Журн. неорган. химии. 2016. Т. 61. № 6. С. 792–802.
5. Бредюк О.А., Лосева О.В., Иванов А.В. и др. 3D-полимерный морфолиндитиокарбамат таллия(I), $[\text{Ti}_2\{\text{S}_2\text{CN}(\text{CH}_2)_4\text{O}\}_2]_n$ и его способность к связыванию золота(III) из растворов: хемосорбционный синтез гетероядерного комплекса золота(III)-таллия(III) ионного типа, $([\text{Au}\{\text{S}_2\text{CN}(\text{CH}_2)_4\text{O}\}_2][\text{TiCl}_4])_n$ и роль вторичных взаимодействий $\text{Ti}\cdots\text{O}$, $\text{Ti}\cdots\text{S}$ и $\text{Au}\cdots\text{S}$ в их супрамолекулярной самоорганизации, MAS ЯМР ^{13}C и термическое поведение // Коорд. химия. 2017. Т. 43. № 10. С. 602–616.
6. Иванов А.В., Бредюк О.А., Лосева О.В. Связывание золота(III) из растворов дибутылдитиокарбаматом таллия(I): синтез, супрамолекулярная самоорганизация и термическое поведение комплекса состава $([\text{Au}\{\text{S}_2\text{CN}(\text{C}_4\text{H}_9)_2\}_2][\text{TiCl}_4])_n$ // Журн. общ. химии. 2018. Т. 88. № 7. С. 1180–1187.
7. Bondi A. Van der Waals Volumes and Radii // J. Phys. Chem. 1964. V. 68. № 3. P. 441–451.
8. Лидин Р.А., Молочко В.А., Андреева Л.Л. Химические свойства неорганических веществ. – М.: Химия, 2000. – 480 с.

НОВЫЙ СПОСОБ ПЕРЕРАБОТКИ КАОЛИНА НА ПРИМЕРЕ ЧАЛГАНСКОГО КОНЦЕНТРАТА

Т.Ю. Еранская, *taerta@mail.ru*

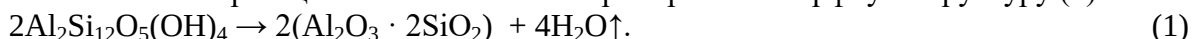
Институт геологии и природопользования ДВО РАН, г. Благовещенск

Традиционное производство глинозема из бокситовых пород в настоящее время ограничено вследствие выработки большинства отечественных месторождений. Глинозем можно получать и из других широко распространенных пород, например каолинов.

Нами разрабатывается новая, лишенная большинства недостатков, технология первого этапа переработки данного сырья, результатом которого является получение гидроксида алюминия. Переработка такого сырья традиционно выполняется в автоклавных установках при высокой температуре и давлении. Новый метод основан на разложении каолиновой породы в растворе кислоты или щелочи под действием ультразвука. Здесь используется эффект кавитации в жидкости, когда в зоне схлопывания кавитационного пузырька создается мгновенный нагрев жидкости и давление, близкие к критическим для данной жидкости [1]. Если это происходит вблизи твердой частицы, нарушается целостность ее поверхности, ускоряются процессы химического взаимодействия. Для каолинита это приводит к разрушению молекулы и разделению ее на силикатную и алюминатную составляющие. Процесс идет без дополнительного нагрева и вакуумирования оборудования, только за счет свойств кавитации. Результаты исследований подтверждают перспективность данной технологии, т.к. получен выход готовой продукции на уровне известных технологий.

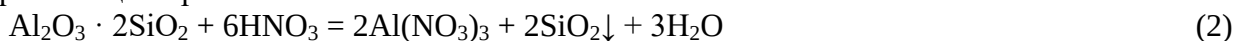
При разработке нового способа за основу взяты данные монографии [2]. Упрощенно процесс получения глинозема состоит из следующих этапов: обжиг каолиновой породы при температурах 700–750 °С для удаления внутримолекулярной воды и превращения каолинита в аморфный метакаолинит, разложение его на алюминатную и силикатную составляющие в растворе азотной кислоты в ультразвуковой установке с образованием раствора азотнокислого алюминия, нейтрализация данного раствора в аммиачной воде с выделением гелеобразного гидроксида алюминия, который после высушивания становится кристаллообразным. Следующий этап – получение глинозема, в настоящих исследованиях не выполнялся, т.к. для оценки эффективности разрабатываемой технологии достаточно получить гидроксид алюминия.

В качестве объекта исследований использовался каолиновый концентрат Чалганского месторождения, который относится к высоко кремнеземистым породам. В составе концентрата оксида кремния 50,44 %. Это и свободный оксид кремния и входящий в состав основного алюминий содержащего компонента – каолинита. В этом минерале алюминатная и силикатная части объединены ионами OH^{-1} и атомами кислорода в пакеты прочными связями, которые возможно разрушить удалением химически связанной воды при нагреве выше 600 °С. При этом каолинит становится реакционно способным и приобретает аморфную структуру (1):



В аморфном метакаолините алюминатная и силикатная части минерала также аморфны.

Задача любой технологии, независимо от используемого реагента, связать алюминатную составляющую. Из всего перечня кислот наиболее приемлема азотная кислота [2, 3], т.к. она не реагирует ни с оксидом кремния, входящим в состав концентрата, ни с оксидом кремния от разложения метакаолинита кислотой. При этом оксид кремния выпадает в осадок (2). Полученный раствор азотнокислого алюминия практически не имеет в своем составе загрязняющих примесей.



Данная реакция эндотермическая. Но для полного завершения взаимодействия необходима температура близкая к 95 °С [2]. Именно такая температура обеспечивается в массе пульпы исключительно под действием явления кавитации. Поэтому при данном способе не требуется создания дополнительных условий для прохождения реакции разложения. После достижения рабочих параметров температура пульпы колеблется в пределах 95-98 °С.

Кавитация в подобного типа процессах играет роль катализатора. Разложение каолинита происходит в несколько раз быстрее. Если в автоклавной установке для окончания процесса требуется от нескольких часов до 2-х или 3-х суток, то в ультразвуковой – от нескольких десятков минут до полутра часов.

Следующий этап технологии служит для оценки эффективности нового метода. Путем нейтрализации азотнокислого раствора аммиачной водой по (3) получали гелеобразную форму гидроксида алюминия, который после промывки и высушивания приобретал кристаллический вид.



По массе получаемого гидроксида алюминия в сравнении со стехиометрией оценивалось влияние тех или иных параметров процесса. В ходе исследований определялось влияние на выход готового продукта концентрации раствора азотной кислоты, времени ультразвуковой обработки, массы закладываемой порции концентрата и температуры предварительного обжига. На рисунках представлены графики зависимости выхода гидроксида алюминия от времени кавитационного воздействия и концентрации раствора азотной кислоты.

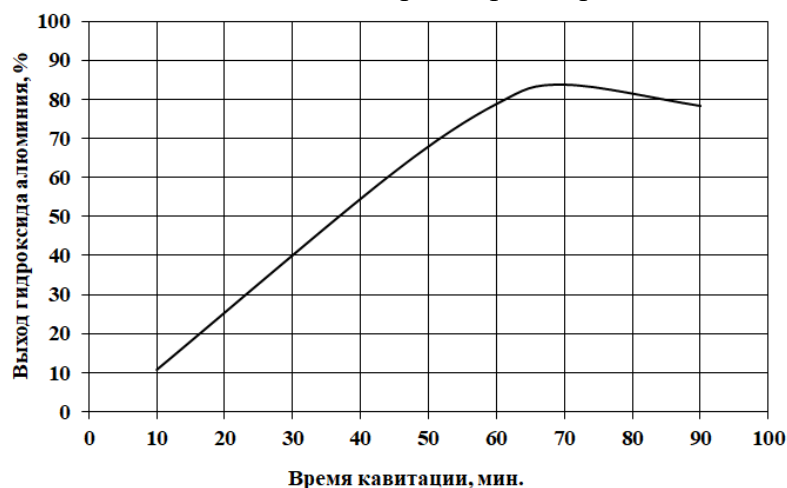


Рис. 1. Зависимость выхода гидроксида алюминия от времени кавитации

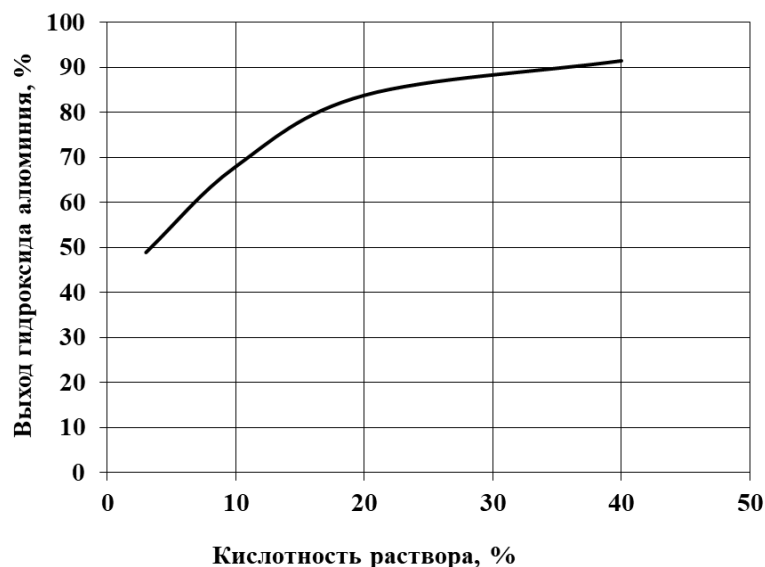


Рис. 2. Зависимость выхода гидроксида алюминия от концентрации азотной кислоты

Максимальные результаты для данной лабораторной установки получили для образцов в 30 г, обожженных при 700 °С, при концентрации азотной кислоты 40 %, после ультразвуковой обработки в течение 70 мин. В таблице приведен состав двух образцов гидроксида алюминия, где на него приходится до 97 мас.%. Полученные результаты соответствуют большинству технологий по переработке каолинового сырья.

На начальном этапе исследований задачи по специальной очистке продукта от примесей не ставилось, поэтому их общее количество в данных образцах составляет 3,47 и 3,49 мас.%.

Таблица. Содержание оксидов в готовом продукте, мас.%

Образец	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Loi()	Al ₂ O ₃ + Loi()	Fe ₂ O ₃	Прочие примеси	Сумма
1	1,62	58,77	38,33	97,1	1,42	0,43	100,57
2	1,68	59,34	37,97	97,3	1,43	0,38	100,79

Литература

1. Солодкий Н.Ф., Шамриков А.С., Погребенков В.М. Минерально-сфрьевая база Урала для керамической, огнеупорной и стекольной промышленности. – Томск: ТПУ, 1009, – 332 с.
2. Лайнер Ю.А. Комплексная переработка алюминийсодержащего сырья кислотными способами. – М.: Наука, 1982. – 208 с.
3. Валеев Д.В. Физико-химические основы получения глинозема и смешанных коагулянтов из бемет-каолиновых бокситов солянокислотным автоклавным выщелачиванием: дис. ... канд. техн. наук. – М.: Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова, 2016. – 143 с.

ЦЕОЛИТЫ ЧУГУЕВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПРИМОРСКОГО КРАЯВ. А. Демчук, Б.Б. Калиниченко, e-mail: *demchuk@ascnet.ru*

Институт геологии и природопользования ДВО РАН, г. Благовещенск

Цеолиты представляют собой кристаллические микропористые материалы, состоящие из организованных тетраэдров $\text{TO}_4 = \text{Si/Al}$ с размером пор от 4 до 7,5 Å. Тетраэдры, соединяясь, образуют кубооктаэдры (так называемые содалитовые ячейки), из которых в свою очередь строятся элементарные ячейки цеолита, составляющие его кристаллический каркас.

Цеолиты известны своими упорядоченными микропористыми взаимосвязанными сетями, большой площадью поверхности, кислотностью и емкостью катионного обмена [1,2]. В цеолитах присутствуют поры различного размера. Самые мелкие – микропоры имеют преимущественно диаметр 0,5-1,0 нм. Наиболее часто они образуются в цеолитах и в их объеме, где в основном протекают химические превращения. Диаметры более крупных – мезопор, много больше размеров адсорбируемых молекул. Они лежат в интервале от 1,5 до 200 нм. Мезопоры являются основными транспортными артериями, по которым осуществляется подвод реагирующих молекул к активным центрам и отвод продуктов реакций. Наконец, самые крупные – макропоры, имеют эффективные диаметры более 200 нм и выполняют роль крупных транспортных каналов. Цеолиты, из-за их кислотных свойств и микропористости, являются важными адсорбентами, катализаторами и каталитическими носителями [3]. Площадь поверхности цеолита является важной характеристикой и может быть вычислена при помощи ряда классических моделей [4] при обработке данных адсорбции газа образцом. Обычно общая (суммарная внутренняя и внешняя) поверхность катализатора относится к единице его массы и называется удельной поверхностью. В зависимости от типа пористого вещества и степени развития пористой структуры его удельная поверхность может изменяться от 10 до 1500 м²/г.

Цель данной работы – исследование структурных и адсорбционных свойств цеолитов данного месторождения. Фазовый состав и чистоту природных цеолитов определяли с помощью метода рентгеновской дифракции (XRD). Для исследования использовали CuK α -излучение с Ni-фильтром и скоростью сканирования 1°/мин, в диапазоне от 12 до 40 °.

Площадь поверхности, объем пор и средний диаметр пор определяли методом низкотемпературной адсорбции азота с использованием модели предложенной Брунауэром, Эмметом и Теллером (БЭТ метод). Количество адсорбирующегося газа измеряли по уменьшению объема адсорбата. Образцы дегазировали в вакууме $2 \cdot 10^{-2}$ Па при 350 °С в течение 3 ч перед физической сорбцией N₂. Общий объем пор рассчитывали из количества азота, адсорбированного при относительном давлении близком к единице, предположив, что поры полностью заполнены конденсатом в жидком состоянии.

Дифрактограммы исследуемых образцов показаны на рисунке 1. Исходные образцы, демонстрируют интенсивные пики (рефлексы) цеолита, соответствующего структуре гейландита. Незначительное присутствие следов аморфного фона свидетельствует о высокой степени кристалличности образцов цеолитного материала. Во всех образцах выявлено наложение линий, принадлежащих, гейландиту и клиноптилолиту. Гейландит и клиноптилолит различают по отношению Si/Al: у первого оно находится в пределах 2.9 – 3.0, у второго 5.0 – 5.1. По данным рентгеноспектрального анализа (рис. 2б) у цеолитов Чугуевского месторождения Si/Al = 3.8, что характерно для гейландита.

При использовании сорбционных и каталитических свойств природных цеолитов существенную роль играет их термостойкость. Это связано с необходимостью сохранять устойчивость в условиях, необходимых для процессов регенерации и активации. Нагрев цеолитов до 700 – 1000 °С вызывает разрыв химических связей, уплотнение структуры и разрушение их кристаллической решетки. Несмотря на то что установлен ряд закономерностей

таких как: соотношение $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$, зависимость от числа и природы обменных катионов, точного критерия пока не существует. Вероятно, это связано с одновременным влиянием других особенностей, характерных для данного месторождения.

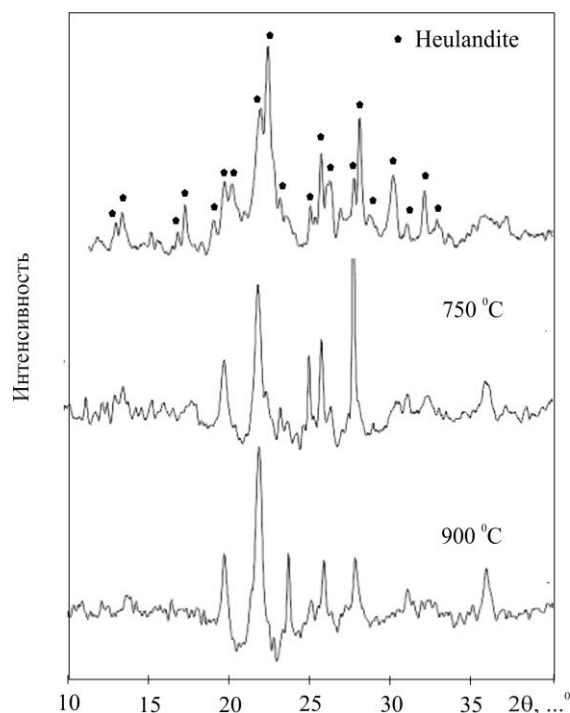


Рис. 1. Рентгенограммы температурной зависимости структуры цеолитов

Так как термическое разрушение кристаллической структуры цеолита происходит не сразу а постепенно, на него влияют скорость нагрева, присутствие адсорбированных газов, а также другие факторы. Исходное сырье нагревали в муфельной печи до заданной температуры с интервалом $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ и выдерживали в течение 20 мин. Разрушение структуры фиксировали по исчезновению пиков, характерных для цеолитов данного месторождения. Результаты рентгенофазового анализа (РФА) при $750\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $900\text{ }^{\circ}\text{C}$ представлены на рисунке 1. Цеолиты рассматриваемого месторождения имеют высокую термостойкость. Так, уменьшение интенсивности рефлексов, характерных для гейландита, наблюдается при $750\text{ }^{\circ}\text{C}$ и сохраняется до $900\text{ }^{\circ}\text{C}$. В то же время результаты РФА образцов месторождения показывают присутствие структуры гейландита даже при $900\text{ }^{\circ}\text{C}$.

На рисунке 2а изображена фотография микроструктуры зерна из которой следует, что цеолит имеет хорошо различимые крупные агломераты кристаллов, состоящие из сильно сросшихся достаточно крупных кристаллитов, каждый из которых имеет форму параллелепипеда с поперечным размером около 10 мк.

Для оценки элементного состава поверхности данные исследования сопряжены с энергодисперсионным анализом (EDX). На EDX спектре (рис. 2б) регистрируются пики, подтверждающие наличие структуры цеолита, а также небольшое содержание Fe, Na и Ca.

Анализ поровой среды цеолита проведен с помощью метода БЭТ. Изотерма адсорбции азота представлена на рисунке 3 и относится к V типу, по классификации, предложенной С. Брунауэром, Л. Демингом, У. Демингом, и Э. Теллером. Изотерма данного типа имеет петлю гистерезиса, нижнюю ветвь которой получают при последовательном добавлении газа в систему, а верхнюю ветвь – при его убавлении (десорбция). Данный тип изотерм описывается как газообразная монослойная адсорбция на микропористых адсорбентах, таких как цеолиты. Величина удельной поверхности, полученная с использованием метода БЭТ, для $P/P_0 < 0,4$, где P_0 – давление насыщенных паров азота, составила $150\text{ м}^2/\text{г}$. Общий удельный объем пор $98\text{ см}^3/\text{г}$.

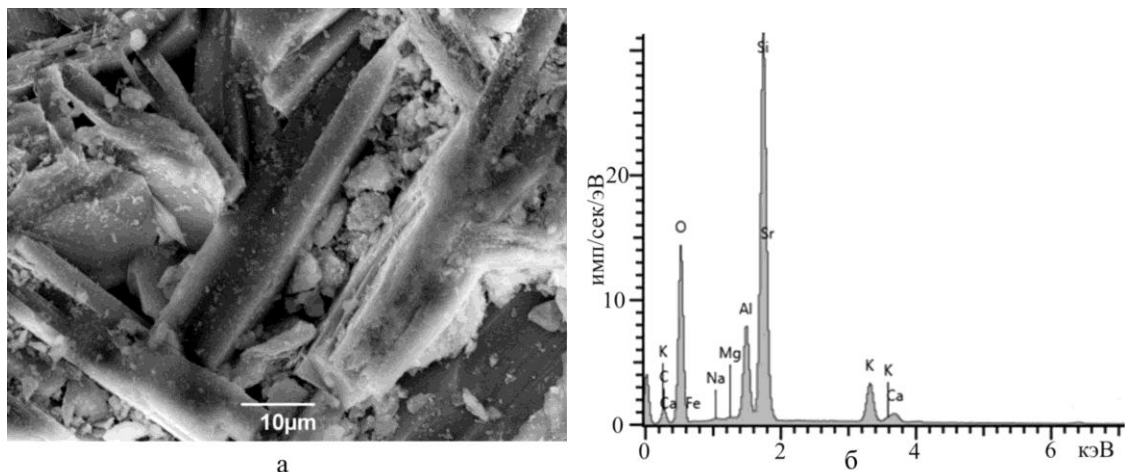


Рис.2. Микроструктура исходного цеолитного зерна (а) и EDX – суммарный спектр (б)

Изучение пористой структуры мезопористых твердых тел тесно связано с интерпретацией изотерм адсорбции. Интерпретируя эту изотерму, можно с приемлемой точностью получить приблизительную характеристику распределения пор по размерам. Чтобы интерпретировать данный тип изотерм, Зигмонди [5] предложил теорию капиллярной конденсации. Модель Зигмонди, подразумевает, что в начальной части изотермы (АБ) на рисунке 3 адсорбция ограничена лишь образованием тонкого слоя на стенках пор. Точка Б соответствует началу капиллярной конденсации в наиболее тонких порах. По мере возрастания давления заполняются все более широкие поры, пока наконец при давлении насыщенного пара вся система не окажется заполненной конденсатом.

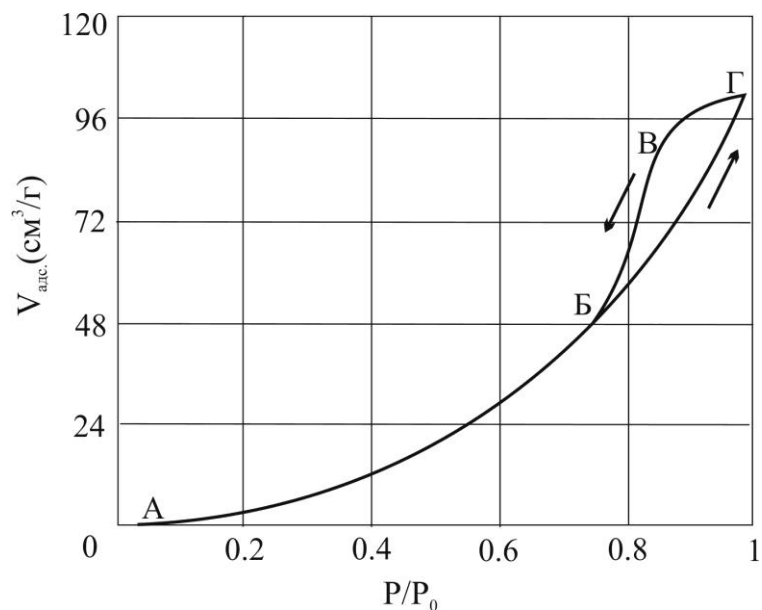


Рис. 3. Изотерма адсорбции / десорбции азота цеолитсодержащего сырья при 77°К

Согласно термодинамическим соотношениям, равновесное давление пара P над вогнутым мениском жидкости должно быть меньше, чем давление насыщенного пара P_0 при той же температуре. Это означает, что в порах твердого тела пар способен конденсироваться в жидкость, даже если его относительное давление меньше единицы. Для применения к адсорбционным данным используют уравнение Кельвина:

$$\ln(P/P_0) = -2\gamma V_L / rRT \quad (1)$$

где P/P_0 – относительное давление пара, находящегося в равновесии с мениском, имеющим радиус кривизны r ; γ – поверхностное натяжение азота в точке кипения, V_L – молярный объем

жидкого азота, T – температура кипения азота. Перепишем это уравнение в виде:

$$r = -2V_L / RT \ln(P/P_0) \quad (2)$$

Вводя соответствующие постоянные для азота преобразуем (2):

$$r = 0,415 / \lg(P/P_0), \text{ нм} \quad (3)$$

Учитывая выражение 3, построим интегральную и дифференциальную зависимость объема пор от их радиуса (рисунок 4).

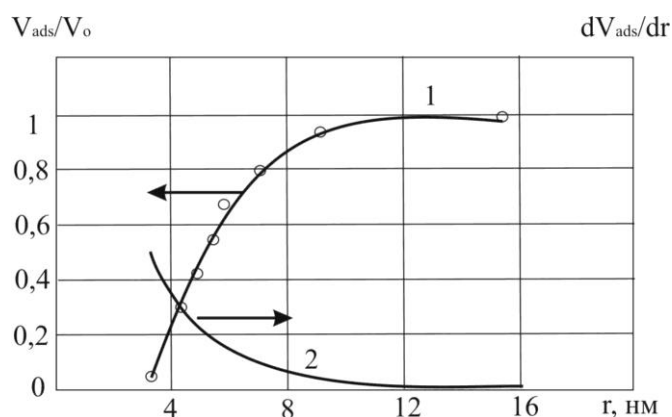


Рис. 4. Распределение мезопор по размерам в объеме цеолитовых зерен: интегральная (1) и дифференциальная (2)

Из анализа полученных результатов можно утверждать, что основной вклад в пористую структуру цеолита вносят поры, имеющие эффективный радиус в интервале от 3 до 5 нм. Проведенные исследования позволяют прогнозировать возможные области применения цеолитного сырья данного месторождения.

Литература

1. Химия цеолитов и катализ на цеолитах. Кн.1 / под ред. Дж.Рабо. М.: Мир, 1980. 508 с.
2. Э. Л. Зонхоева. Природные цеолиты Забайкалья: свойства и применение / отв. Редактор А.М. Плюснин. – Улан Удэ: Издательство БНЦ СО РАН, 218-192 с.
3. Kosinov N., Liu C., Hensen E.J.M. et al. Engineering of transition metal catalysts confined in zeolites // Chemistry of Materials. 2018. V. 30. N. 10. P. 3177 – 3198.
4. Ж. Ф. Галимов, Г.Г. Дубинина, Р.М. Масагутов. Методы анализа катализаторов нефтепереработки. // М: Изд. «Химия», 1973. – 192 с.
5. А. С. Вячеславов, Е. А. Померанцева. Измерение площади поверхности и пористости методом капиллярной конденсации азота. Методическая разработка. // М: МГУ, 2006. – 55 с.

ТОПОХИМИЧЕСКАЯ КИНЕТИКА ФТОРИДНО-АММОНИЕВОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ЗОЛОШЛАКОВЫХ ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ ТЭЦ

А. А. Пушкин, В. С. Римкевич, И.В.Гиренко
pushkin@ascnet.ru, vrimk@yandex.ru, girenko66@inbox.ru

Институт геологии и природопользования ДВО РАН, Благовещенск

В настоящее время импортозамещение в РФ становится актуальным не только в технологической, но и в сырьевой области. В частности, в алюминиевой промышленности России импорт глинозема из-за рубежа предполагается заместить его производством из небокситового сырья на территории РФ. В 2018 году на Ачинском глиноземном комбинате РУСАЛ произвел 1.069 млн. т. глинозема из нефелиновых руд. В 2023 году РУСАЛ планирует создание опытно-промышленного производства в Ачинске по получению глинозема из каолина и к 2034 году довести производство глинозема до 1 млн. тонн [1].

В ИГиП ДВО РАН разрабатывается фторидно-аммониевая технология переработки небокситового алюмосиликатного сырья, которая может успешно использоваться и для других видов сырья. В частности, для золошлаковых отходов предприятий теплоэнергетики, которые являются основным сырьем, исследуемым в настоящий момент в Амурском регионе [2].

В Благовещенске имеется проблема накопления золы, получаемой в результате сжигания угля в 4-х котлах Благовещенской ТЭЦ. Ежегодное поступление составляет 150 тыс. тонн, общее накопление золы в золоотвале – 3.5 млн тонн. Отметим, что зола приравнивается к минеральным удобрениям, содержащим большое количество ценных элементов, поэтому её изучение вызывает большой интерес [2].

Целью данной работы является расчет кинетических характеристик топохимических реакций фторирования золы из Золоотвала Благовещенской ТЭЦ гидродифторидом аммония и реакций разложения с сублимацией фтор-аммониевых солей в процессе термообработки их спека с флюоритом и гематитом, образовавшегося при фторировании. Компьютерный расчет проводится с применением параметрического регрессионного и корреляционного анализа, включая проверку их статистических гипотез [3].

Среди химических реагентов или продуктов в изучаемых химических реакциях присутствуют твердые вещества, поэтому реакции являются топохимическими [4]. В качестве параметрических функций $\alpha^i(t)$ выберем степенной ($i=0$) закон, относящийся к уравнениям ускоряющегося типа, уравнение Ерофеева-Авраама ($i=1$) сигмоидного типа, а также уравнения трехмерной диффузии замедляющегося типа ($i=2$) и сжимающейся сферы ($i=3$) геометрического типа

$$\begin{cases} \alpha^0(t) = c_r t^{c_s}, & i = 0 \\ \alpha^1(t) = 1 - \exp(-c_r t^{c_s}), & i = 1 \\ \alpha^2(t) = 1 - \left(1 - \sqrt{2c_r t/3}\right)^3, & i = 2, \\ \alpha^3(t) = 1 - \left(1 - c_r t/3\right)^3, & i = 3 \end{cases} \quad (1)$$

где $\alpha^i(t)$ – i -ая параметрические функции, c_r и c_s – константа скорости и коэффициент формы кинетической кривой, соответственно [5, 6].

Регрессионные модели, строящиеся на основе нелинейных параметрических функций, также нелинейны. После проведения замен (2) и (3)

$$x^i(t) = lnt, \quad i = 0, 1, 2, 3, \quad (2)$$

и

$$y^i(t) = \begin{cases} \ln(\alpha^0(t)), & i = 0 \\ \ln(-\ln(1 - \alpha^1(t))), & i = 1 \\ \ln\left(1.5 * \left(1 - (1 - \alpha^2(t))^{1/3}\right)^2\right), & i = 2, \\ \ln\left(3 * \left(1 - (1 - \alpha^3(t))^{1/3}\right)\right), & i = 3 \end{cases} \quad (3)$$

получим линейную регрессионную модель для i -ой параметрической функции

$$y^i = (b_0)^i + (b_1)^i \cdot x^i, \quad (4)$$

где в формулах (2) – (4) индекс i ($i = 0, 1, 2, 3$) нумерует линейные регрессионные модели, соответствующие параметрическим функциям $\alpha^i(t)$; $x^i(t)$ и $y^i(t)$ – обобщенные абсциссы и ординаты; $(b_0)^i$ и $(b_1)^i$ – первый и второй коэффициенты соответствующей линейной регрессионной модели.

Точечные оценки коэффициентов линейной регрессионной модели $(b_0^*)_j$ и $(b_1^*)_j$ рассчитываются методом наименьших квадратов по уравнению (4), в котором $x_{jk}^i = x^i(t)|_{t=t_{jk}}$,

а $y_{jk}^i = y^i(t)|_{t=t_{jk}}^{\alpha^i=\alpha_{jk}}$ индекс j ($j = 0, 1, \dots, m$) нумерует исследуемые температуры T_j , k ($k = 0, 1, \dots, n_j$) – моменты отсчетов времени, t_{jk} и α_{jk} – массивы экспериментальных значений моментов отсчета времени и степеней превращения вещества, в общем случае размерностей $(n_j; m)$, n_j – количество моментов отсчета времени при температуре T_j и m – количество исследуемых температур T_j .

Точечные оценки $(c_r^*)_j$ и $(c_s^*)_j$ кинетических параметров c_r и c_s , соответственно, для i -ой регрессионной модели при температуре T_j вычисляются по формулам

$$\begin{cases} (c_r^*)_j = \left(x^i((b_0^*)_j)\right)^{-1}, (c_s^*)_j = (b_1^*)_j, & i = 0, 1 \\ (c_r^*)_j = \left(x^i((b_0^*)_j)\right)^{-1}, & i = 2, 3 \end{cases} \quad (5)$$

После подстановки точечных оценок параметров $(c_r^*)_j$ и $(c_s^*)_j$ в i -ую параметрическую функцию $\alpha^i(t)$ получим при температуре T_j i -ую функцию отклика $\alpha_j^i(t)$

$$\begin{cases} \alpha_j^0(t) = (c_r^*)_j^0 \cdot t^{(c_s^*)_j^0}, & i = 0 \\ \alpha_j^1(t) = 1 - \exp\left(-(c_r^*)_j^1 \cdot t^{(c_s^*)_j^1}\right), & i = 1 \\ \alpha_j^2(t) = 1 - \left(1 - \sqrt{2(c_r^*)_j^2 t / 3}\right)^3, & i = 2. \\ \alpha_j^3(t) = 1 - \left(1 - (c_r^*)_j^3 t / 3\right)^3, & i = 3 \end{cases} \quad (6)$$

Энергию активации (ЭА) E^i вычисляют по уравнению Аррениуса для констант скоростей [7], которое представимо в виде уравнения линейной регрессии без свободного члена (7)

$$\ln((c_r^*)_j^i) = -\frac{E^i}{R} \cdot \left(\frac{1}{T_j}\right). \quad (7)$$

Предварительный выбор между регрессионными моделями (4) при каждой температуре выполняем по минимуму погрешностей аппроксимаций [3], которые рассчитываются как относительные средние ошибки аппроксимации :

$$\varepsilon_j^i = \frac{1}{n_j} \sum_{k=0}^{n_j} \left| \frac{\alpha_{jk}(t_{jk}) - \alpha_j^i(t)|_{t=t_{jk}}}{\alpha_{jk}(t_{jk})} \right|, \quad (8)$$

где $\alpha_j^i(t)|_{t=t_{jk}}$ – расчетные значения i -ой функции отклика $\alpha_j^i(t)$ в моменты отсчета времени t_{jk} .

Расчет погрешностей коэффициентов линейных регрессионных моделей, имеющих интервальные оценки, осуществляется в соответствии с [3]

$$\left[(b_0^*)^i_j - t_\beta \cdot \frac{\sqrt{p}}{\sigma_\varepsilon^*} * (b_0^*)^i_j ; (b_0^*)^i_j + t_\beta \cdot \frac{\sqrt{p}}{\sigma_\varepsilon^*} * (b_0^*)^i_j \right] \quad (9)$$

и

$$\left[(b_1^*)^i_j - t_\beta \cdot \frac{\sqrt{p}}{\sigma_x^*} * (b_1^*)^i_j ; (b_1^*)^i_j + t_\beta \cdot \frac{\sqrt{p}}{\sigma_x^*} * (b_1^*)^i_j \right], \quad (10)$$

где t_β – критические точки распределения Стьюдента для уровня значимости β и числа

$$\text{степеней свободы } p = n_j - 2, \quad \sigma_x^* = \sqrt{\frac{\sum (x_{jk}^i - \bar{x}_{jk}^i)^2}{n_j}}, \quad \sigma_\varepsilon^* = \sqrt{\frac{\sum (y_{jk}^i - y_{jk}^{i*})^2}{n_j}}, \quad y_{jk}^i \text{ и } y_{jk}^{i*} -$$

экспериментальные значения и ординаты линейной регрессии.

Погрешности кинетических параметров связаны с погрешностями коэффициентов линейной регрессионной модели, в частности, погрешности коэффициентов формы $(c_s)_j^i$ для $i=0, 1$ совпадают с погрешностями коэффициентов $(b_1)_j^i$. Относительные погрешности констант скоростей $(c_r)_j^i$ для $i = 0, 1, 2, 3$ в силу их связи со свободным членом $(b_0)_j^i$ по формуле: $(b_0)_j^i = \ln((c_r)_j^i)$, равны абсолютным погрешностям $(b_0)_j^i$ и вычисляются в соответствии с (9) по формуле

$$\frac{\Delta(c_r)_j^i}{(c_r)_j^i} = t_\beta \cdot \frac{\sqrt{p}}{\sigma_\varepsilon^*}, \quad (11)$$

После предварительного отбора регрессионной модели реакции с минимальной погрешностью аппроксимации и последующего расчета статистических характеристик проводим статистическую проверку гипотез регрессионного и корреляционного анализа. Если для предварительно выбранной регрессионной модели для некоторой температуры испытуемая гипотеза отклоняется, тестируется регрессионная модель, следующая в ранжированном по погрешности аппроксимации ряду. В работе проверяется 5 статистических гипотез: об однородности дисперсии воспроизводимости, об адекватности дисперсии, о значимости коэффициентов регрессии, о практической ценности функции отклика и значимости коэффициента корреляции. При проверке гипотез соответствующие статистики рассчитываются и сравниваются с допустимыми табличными значениями аналогично [8].

Фторируемым реагентом для химической реакции спекания выбрана электромагнитная фракция золы состава в мас. %: SiO_2 – 54.27; Al_2O_3 – 21.01; Fe_3O_4 – 7.82; TiO_2 – 0.66; CaO – 8.24; MnO – 0.30; MgO – 2.49; Na_2O – 0.40; K_2O – 1.23; P_2O_5 – 0.08; SO_3 – 0.27; п.п.п. – 2.91 [2]. ЭФ составляет 88.7 мас.% пробы золы из ЗБТЭЦ и характеризуется высоким содержанием глинозема и низким содержанием серы. Экспериментальная реализация химических реакций фторирования и разложения с улетучиванием и сублимацией описана в [2].

При математическом моделировании химических реакций нами выбраны четыре параметрических функции: степенной закон, уравнения Ерофеева-Авраами, трехмерной диффузии и сжимающейся сферы. Все эти уравнения получены, исходя из предположений о правильной форме зерен исходного вещества и сферической формы зародышей [4]. Как показывают данные минералогического анализа с учетом процедуры подготовки сырья истиранием в планетарной мельнице, эти условия выполняются. Дополнительно следует обсудить уравнение Ерофеева-Авраами. Следует заметить, что уравнение Ерофеева-Авраами, в силу того, что при замене переменных в нем возникает двойной логарифм, сглаживающий многие отклонения экспериментальных точек от линейной регрессии, обладает «широкой описательной способностью». Поэтому его применение должно быть осторожным и, в частности, недопустимо в случае противоречия с его физическим смыслом, например, при

наличии диффузионного торможения или в случае ускорения реакции в результате образования жидкой фазы [4]. В нашем случае, в реакции спекания золы с ГДФА фторирующий реагент ГДФА при третьей и четвертой температурах находится в расплавленном состоянии. Поэтому применение уравнения Ерофеева-Авраама для реакции спекания допустимо только при нижних температурах, а также оно может использоваться в качестве параметрической функции для реакции разложения с улетучиванием и сублимацией фтораммониевых солей. Результаты расчета кинетических и статистических характеристик приведены в таблице 1.

Таблица 1. Кинетические и статистические характеристики, полученные в результате предварительного отбора по величине погрешностей аппроксимаций, для реакции спекания золы из ЗБТЭЦ с ГДФА.

Температура T_j , °C	50	100	150	200	350	450	550
Константа скорости $(c_r)_j^i$, мин ⁻¹	0.000804	0,002356	0.003131	0.003787	0.017579	0.05915	0.071877
Коэффициент формы $(c_s)_j^i$	0.76	0.16	0.39	0.48	0.97	0.51	0.19
Погрешность аппроксимации ε_j^i	3	4	3	3	2	2	4
Энергия активации E^i , кДж/моль	13	13	13	13	30.8	30.8	30.8
Уравнение реакции $\alpha^i(t)$	Степ	Степ	Степ	Степ	ЕА	ЕА	ЕА
Зона Реакции	Д	Д	Д	Д	П	П	П
Статистика Фишера для однородности дисперсии $f_j^i(h_1; h_2)$	4.74	4,21	1,64	3,75	2.91	7.38	12.14
Коэффициент Фишера для однородности дисперсии $f_\beta(h_1; h_2)$	19,37	19,37	19,37	19,37	19	19	19
Статистика Фишера для адекватности регрессии $(f^*)_j^i(p_1; p_2)$	2.0	3,59	2,9	3,72	5.42	2.42	1.49
Коэффициент Фишера для адекватности регрессии $f_\beta(p_1; p_2)$	4,46	4,46	4,46	4,46	10	10	10
Статистика для свободного члена $t^*(b_0)_j^i$	94,28	25.36	12,83	1,12	4.05	34.27	20.65
Статистика для углового коэффициента $t^*(b_1)_j^i$	39,19	7.66	12,19	4,4	67.08	20.61	6.61
Коэффициент корреляции $(r_{xy})_j^i$	1	0.97	0,99	0,91	1	0.99	0.95
Показатель согласованности Стьюдента $(t_r)_j^i$	27.71	5.42	9,25	3,11	51.96	15.96	5.12
Коэффициент Стьюдента (t_β)	4,3	4.3	4,3	4,3	3.18	3.18	3.18

Таким образом, из таблицы 1 мы видим, что реакция фторирования золы ГДФА протекает по степенному закону в диффузионной зоне, а реакция разложения с улетучиванием и сублимацией фтор-аммониевых солей по уравнению Ерофеева-Авраама в переходной зоне.

Литература

1. В. С. Римкевич, А. П. Сорокин, А. А. Пушкин, И. В. Гиренко. Физико-химические исследования распределения полезных компонентов в техногенных отходах предприятий теплоэнергетики// Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2020. № 3. С. 152. [Rimkevich V.S., Sorokin A.P., Pushkin A.A., Girenko I.V. Physicochemical analysis of distribution of useful components in waste in the thermal energy sector // Journal of mining science. 2020. № 3. P. 464].
2. Балдин К.В., Башлыков В.Н., Рукусуев А.В. Теория вероятностей и математическая статистика. Учебник. 2-е изд. М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков & К0», 2014. 473с.
3. Розовский А.Я. Кинетика топочимических реакций. М.: Химия, 1974.
4. Артамонова И.В., Чернышова Е.Н. Методика расчета кривых термоанализа кальцита. Известия МГТУ «МАМИ». Серия Естественные науки. № 1(15), 2013, т. 3. С. 9-12.
5. Новый справочник химика и технолога. Электродные процессы. Химическая кинетика и диффузия. Коллоидная химия. С.-Пб.: АНО НПО «Профессионал». 2004.
6. Еремин Е.Н. Основы химической кинетики: Учеб. Пособие для университетов и химико-технологических вузов. 2-е изд., доп. М.: Высш. Шк., 1976.
7. Пушкин А.А., Римкевич В.С. Кинетика фторидно-аммониевой переработки золы углей предприятий теплоэнергетики//Современные наукоемкие технологии. 2021. № 5. С. 114-123.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ФТОРИДНО-АММОНИЕВОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ

В.С. Римкевич, А.П. Сорокин, И.В. Гиренко, А.А. Пушкин
 vrimk@yandex.ru, sorokinap@ignm.ru, girenko66@inbox.ru, pushkin@ascnet.ru

Институт геологии и природопользования ДВО РАН, Благовещенск

На тепловых электростанциях (ТЭЦ) Российской Федерации ежегодно сжигается более 70 % добываемого угля с образованием большого количества золошлаковых отходов, которые мало используются, загрязняют окружающую среду и занимают значительные территории. Содержащие различные полезные компоненты золошлаковые отвалы переполнены, и проблема по их утилизации является весьма актуальной [1, 2]. Существующие методы переработки позволяют извлекать незначительные количества ценных компонентов, содержащихся в золошлаковых отвалах. В тоже время по вещественному составу золошлаковые угольные отходы можно рассматривать как комплексное месторождение нерудных и рудных полезных ископаемых. Оно находится на поверхности, не требует расходов на добычу из недр, запасы значительны и постоянно увеличиваются.

В настоящее время получила развитие фторидно-аммониевая переработка силикатов, алюмосиликатов и другого сырья путем твердофазных реакций с гидродифторидом (NH_4HF_2) и фторидом (NH_4F) аммония [3, 4 и другие], которые позволяют извлекать различные ценные компоненты из вышеуказанного сырья при значительном уменьшении материальных и энергетических затрат. Преимуществом химического обогащения с применением возгонов является отсутствие образования отходов, что также положительно влияет на экономику процесса с точки зрения экологии и затрат на хранение и утилизацию шламов, шлаков и других «хвостов» в классических методах.

Цель работы – выявление закономерности физико-химических процессов обогащения и разработка эффективной технологии для комплексного извлечения полезных компонентов из золошлаковых отходов от сжигания углей.

Перед экспериментальными работами были проведены термодинамические расчеты вероятности прохождения химических реакций комплексной переработки исходного сырья, которые показывают, что реакции идут в сторону образования конечных продуктов (таблица). Изменения энергии Гиббса в ходе реакций равны разности изменения энергий Гиббса образования продуктов реакции и изменения энергии Гиббса образования исходных веществ и описываются формулой:

$$\Delta G_T^0 = \sum_{\text{прод. } i} k_{\text{прод. } i} (\Delta G_{f,298}^0 - S_{298}^0(T - 298)) - \sum_{\text{исх. } i} k_{\text{исх. } i} (\Delta G_{f,298}^0 - S_{298}^0(T - 298)) \quad (1),$$

где $\Delta G_{f,298}^0$ — изменения энергии Гиббса в ходе образования (f) данного вещества из простых веществ в стандартных условиях, т. е. при $T = 298 \text{ K}$ и $P = 10^5 \text{ Па}$, кДж/моль; $S_{p,298}^0$ — значения энтропии при стандартных условиях, Дж/моль·К; ΔG_T^0 — изменения энергии Гиббса в ходе реакции при температуре T и давлении 10^5 Па , кДж; T — абсолютная температура, К; $k_{\text{прод. } i}$, $k_{\text{исх. } i}$ — стехиометрические коэффициенты i -го продукта (прод.) и i -го исходного (исх.) вещества, моль. Техника и методика исследований подробно описаны в [5].

Исходное сырье, промежуточные фазы и конечные продукты исследовали химическим, рентгенофазовым, спектральным, электронно-микроскопическим и другими методами анализов. Комплексную переработку электромагнитной фракции золы Благовещенской ТЭЦ осуществляли на лабораторной установке, состоящей из блоков термической обработки, пирогидролиза, гидролиза, выщелачивания, восстановления реагентов, кальцинации, которые обеспечивали практически безотходный технологический процесс.

Таблица – Расчетные значения изменений энергии Гиббса для электромагнитной фракции золы ТЭЦ

		$\Delta G^0_{T, \text{ кДж при } T, ^\circ\text{C}}$						
№№		25	100	200	300	400	500	600
1	$\text{SiO}_2 + 3\text{NH}_4\text{HF}_2 = (\text{NH}_4)_2\text{SiF}_6 + 2\text{H}_2\text{O}\uparrow + \text{NH}_3\uparrow$							
	-34.4	-69.3	-115.9	-162.5	-209.4	-255.6	-348.8	
2	$\text{Al}_2\text{O}_3 + 6\text{NH}_4\text{HF}_2 = 2(\text{NH}_4)_3\text{AlF}_6 + 3\text{H}_2\text{O}\uparrow$							
	-340.4	-339.1	-337.3	-335.5	-333.7	-331.9	-328.3	
3	$\text{CaO} + \text{NH}_4\text{HF}_2 = \text{CaF}_2 + \text{H}_2\text{O}\uparrow + \text{NH}_3\uparrow$							
	-157.9	-180.2	-208.8	-239.4	-268.0	-298.7	-357.9	
4	$\text{Na}_2\text{O} + \text{NH}_4\text{HF}_2 = 2\text{NaF} + \text{H}_2\text{O}\uparrow + \text{NH}_3\uparrow$							
	-309.7	-331.7	-360.1	-390.5	-419.9	-449.2	-508.0	
5	$\text{K}_2\text{O} + \text{NH}_4\text{HF}_2 = 2\text{KF} + \text{H}_2\text{O}\uparrow + \text{NH}_3\uparrow$							
	-342.5	-247.4	-336.6	-425.8	-486.4	-486.4	-547.0	
6	$\text{AlF}_3 + 3\text{NH}_4\text{HF}_2 = (\text{NH}_4)_3\text{AlF}_6 + 3\text{HF}$							
	17.0	3.0	-16.0	-35.0	-54.0	-72.0	-91.0	
7	$(\text{NH}_4)_3\text{AlF}_6 = \text{AlF}_3 + 3\text{NH}_3\uparrow + 3\text{HF}\uparrow$							
	268.4	187.0	78.5	-30.1	-138.6	-247.2	-464.3	
8	$\text{Fe}_2\text{O}_3 + 6\text{HCl} = 2\text{FeCl}_3 + 3\text{H}_2\text{O}$							
	-40.0	-13.0	22.1	58.0	94.2	129.3	165.4	
9	$(\text{NH}_4)_2\text{SiF}_6 + 4\text{NH}_4\text{OH} = \text{SiO}_2\downarrow + 6\text{NH}_4\text{F} + 2\text{H}_2\text{O}$							
	-48.7	-19.1	20.3	59.7	99.2	138.6	217.5	
10	$(\text{NH}_4)_3\text{AlF}_6 + 3\text{NH}_4\text{OH} = \text{Al}(\text{OH})_3\downarrow + 6\text{NH}_4\text{F}$							
	-43.0	-71.1	-108.5	-145.9	-183.3	-220.7	-258.1	
11	$2\text{FeCl}_3 + 6\text{NH}_4\text{OH} = \text{Fe}_2\text{O}_3\downarrow + 6\text{NH}_4\text{Cl} + 3\text{H}_2\text{O}$							
	-520.0	-528.0	-539.0	-551.0	-562.0	-573.0	-585.0	
12	$\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O} = \text{NH}_4\text{OH}$							
	-9.6	-3.4	4.9	13.2	21.5	29.8	38.1	
13	$\text{NH}_3 + \text{HF} = \text{NH}_4\text{F}$							
	-39.1	-23.3	-2.1	19.1	40.3	61.5	83.7	
14	$2\text{NH}_4\text{F} = \text{NH}_4\text{HF}_2 + \text{NH}_3\uparrow$							
	0.5	-12.0	-28.7	-45.4	-62.1	-78.8	-95.5	
15	$\text{NH}_4\text{Cl} = \text{HCl}\uparrow + \text{NH}_3\uparrow$							
	93.0	72.1	42.9	15.0	-13.1	-42.2	-70.3	

Расчеты термодинамических параметров, констант скорости и энергии активации химических реакций осуществляли с применением программ, разработанных на основе приложения Microsoft Access 2007.

Объектом исследования являлась наиболее распространенная электромагнитная фракция золы Благовещенской ТЭЦ состава, мас. %: SiO_2 – 54,27; Al_2O_3 – 21,01; Fe_3O_4 – 7,82; TiO_2 – 0,66; CaO – 8,24; MnO – 0,30; MgO – 2,49; Na_2O – 0,40; K_2O – 1,23; P_2O_5 – 0,08; SO_3 – 0,27; п.п.п. – 2,91. Эта фракция характеризуется повышенным содержанием глинозема и низким содержанием серы. Перед опытами исходный материал измельчался до размеров менее 0,25 мм. Объем золошлакового материала составляет в настоящее время более 3,5 млн т. Благовещенская ТЭС использует в основном бурые угли Ерквецкого, Райчихинского, Архаро-Богучанского и отчасти Харанорского месторождений с влажностью более 30 % и зольностью на сухое топливо порядка 15–18 %.

В результате проведенных исследований разработана малоотходная технологическая схема. Был произведен расчет материального баланса и определены расходные коэффициенты

для всех химических соединений, участвующих в реакциях комплексной переработки электромагнитной фракции угольной золы. Применяемые дополнительные компоненты легко восстанавливаются с отсутствием твердых, жидких и газообразных отходов, что позволяет многократно использовать их в технологическом процессе с применением замкнутого цикла оборотной воды.

Разработанная схема показывает малоотходность материальных потоков, где теоретически можно регенерировать 95,12 % гидрофторида аммония, 95,5 % аммиачной воды и до 100 % соляной кислоты. При комплексной переработке угольной золы теоретически образуется 54,26 кг аморфного кремнезема, 21,01 кг глинозема, 8,09 кг красного железистого пигмента, 11,47 кг фторида кальция и другие полезные компоненты – гексафторосиликат аммония, фториды натрия и калия [6, 7], которые используются в различных отраслях промышленности.

Результаты *icp-ms* анализов показали, что в электромагнитной фракции золошлаковых отходов наблюдается повышенное содержание редкоземельных элементов (рис. 1). В исходной пробе обнаружено (г/т): редкоземельных элементов — 409,27, в процессе фторидно-аммониевого обогащения концентрация редкоземельных элементов увеличивается в остатке в 1,81 раза до 743,00 г/т. Летучий компонент и аморфный кремнезем обеднены редкоземельными элементами и содержат соответственно 24,59 и 3,32 г/т. Коэффициенты распределения редкоземельных элементов между остатком и летучим компонентом ($K_p = C_0/C_{\text{л}}$) изменяются от 21,37 (Ce) до более 13200,00 (Sc) в пользу остатка, кроме Er (0,87), который концентрируется в летучем компоненте.

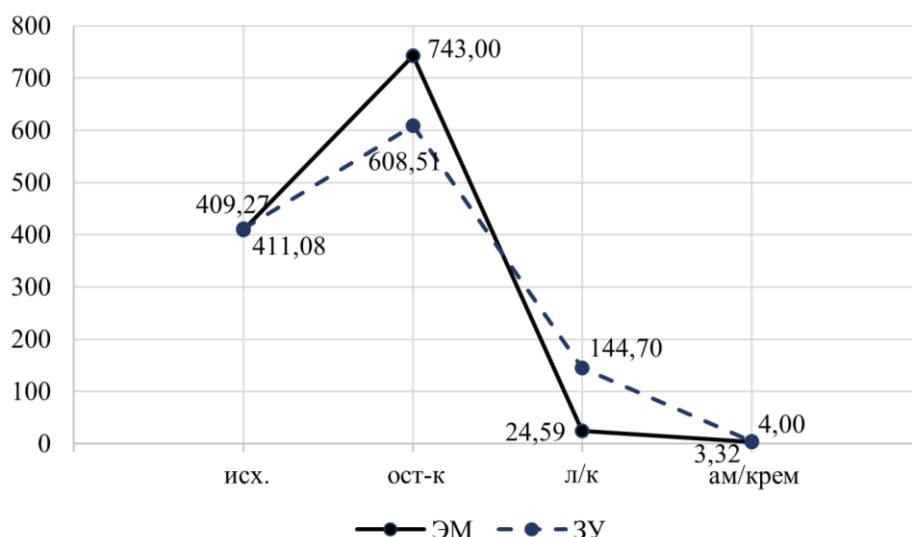


Рисунок – Распределение редкоземельных элементов (г/т) в продуктах обогащения золошлаковых техногенных отходов: ЭМ – электромагнитная фракция золы ТЭЦ; ЗУ – проба ЗУ-102

Изучение рудных компонентов непосредственно в углях Ерковецкого месторождения было проведено на Экспериментально-технологическом комплексе (ЭТК) «Амур», который позволяет получать отдельные продукты сгорания угля. Вторым объектом исследования являлась зола уноса (ЗУ) (проба ЗУ-102) следующего состава, в мас. %: SiO_2 – 35,13; Al_2O_3 – 14,25; Fe_2O_3 – 12,59; TiO_2 – 0,47; CaO – 12,65; MgO – 1,25; MnO – 0,33; Na_2O – 0,39; K_2O – 0,78; P_2O_5 – 0,03; п.п.п. – 20,90, которая характеризуется высокими содержаниями редкоземельных элементов 411,08 г/т. Проба ЗУ-102 перерабатывалась по аналогичной технологической схеме, что и электромагнитная фракция золы.

В пробе ЗУ-102 исходные пониженные содержания SiO_2 , Al_2O_3 , а также повышенные концентрации Fe_2O_3 и CaO , по сравнению с ЭМФ, препятствуют прохождению процесса образования Al_2O_3 и способствуют образованию CaAlF_5 . Дальнейшая переработка пробы ЗУ-102 должна привести к образованию Al_2O_3 и CaF_2 .

Результаты *icp-ms* анализов показали, что в ЗУ наблюдается повышенное содержание редкоземельных элементов (рис. 1). В процессе фторидно-аммониевого обогащения их концентрация увеличивается в 1,48 раз и достигает содержания 608,51 г/т в остатке. Летучий компонент и аморфный кремнезем обеднены редкоземельными элементами и содержат 144,7 и 4,0 г/т соответственно. Коэффициенты распределения редкоземельных элементов между остатком и летучим компонентом ($K_r = C_0/C_{\text{л}}$) изменяются от 2,90 (Ce) до более 9530,00 (Sc), кроме Er (0,18), который тяготеет к летучему компоненту.

В промышленности востребованы все получаемые продукты переработки. Например, аморфный наноразмерный кремнезем применяется в качестве добавок в масла и смазки, как армирующий наполнитель в резину, для силиконовых эластомеров, для выращивания крупных кристаллов и во многом другом. Глинозем необходим при производстве алюминия, используется при производстве изоляционных, композитных, абразивных материалов, для защитных покрытий от агрессивных сред, как катализатор химических процессов и адсорбент. Гексафторосиликат аммония применяется в качестве антисептической пропитки древесины, при создании кислотоупорных жаростойких цементов, красок, в сельском хозяйстве, как инсектицид. Красный железоксидный пигмент применяется в производстве красок, грунтовок, для окрашивания резины, пластмасс, любых пленочных покрытий. 70 % редкоземельных элементов используется в электронике, большая доля идет на производство катализаторов для переработки нефти, оптики, магнитов. Но большую их часть используют в военно-технических изделиях.

Выводы

Экспериментально и теоретически исследованы сравнительные характеристики и особенности распределения полезных продуктов между летучим компонентом и нелетучим осадком в процессе обогащения золошлакового техногенного сырья предприятий теплоэнергетики и ЭТК «Амур» под действием используемых химических реагентов: фторидов аммония, аммиачной воды и раствора соляной кислоты.

Разработана общая малоотходная эффективная инновационная технология физико-химической переработки электромагнитной фракции угольной золы Благовещенской ТЭЦ и золы уноса ЭТК «Амур» с комплексным получением различных рудных и нерудных микрокомпонентов.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда проект No 22-27-00116, <https://rscf.ru/project/22-27-00116/>.

Литература

1. Сорокин А. П., Савченко И. Ф., Носкова Л. П., Кузьминых В. М., Конюшок А. А., Римкевич В. С., Крапивенцева В. В. Комплексное использование каустобиолитов угольного ряда Дальнего Востока на основе инновационных технологий в области углехимии // ФТПРПИ. 2018. № 1. С. 167 – 177.
2. Zaixing Huang, Maohong Fan, Hanjing Tian. Rare Earth Elements of fly ash from Wyoming's Powder River Basin coal. J. of Rare Earth. 2020. Vol. 38. P. 219 – 226.
3. Римкевич В.С., Пушкин А.А., Маловицкий Ю.Н., Гиренко И.В. Изучение процессов фторидной переработки кремнеземсодержащего сырья // Журнал прикладной химии. 2011. Т. 84. Вып. 3. С. 353-358.
4. Wang W., Lu P., Han L., Zhang C., Su R., Yang C., and Chen J. Diffusion behavior of ammonium group and its interaction mechanisms with intrinsic defects in fused silica, Applied Physics A: Materials Sci. and Proc., – 2016, – Vol. 122, No. 10. P. 929 – 937.
5. Римкевич В.С., Сорокин А. П., Гиренко И.В., Пушкин А.А. Сравнительные характеристики фторидно-аммониевой технологии по обогащению различных типов золошлакового сырья с извлечением рудных микрокомпонентов // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2022. № 3. С. 126-135.
6. Пат. 2171226 Российская Федерация, МПК C01F7/44. Способ получения глинозема/ Моисеенко В.Г., Римкевич В.С.; - № 99127179/12 заявл. 28.12.199; опубл. 27.07.2001, Бюл. № 21.
7. Сорокин А.П., Конюшок А.А. Распределение редких металлов и редкоземельных элементов в бурогольных месторождениях Верхнего и Среднего Приамурья // ДАН. 2018. № 6. С. 658-661.

ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГЛАУКОНИТА ДЛЯ СОЗДАНИЯ КОМПЛЕКСНЫХ ЭКО-УДОБРЕНИЙ

Рудмин М.А., *rudminma@tpu.ru*, Максимов П.Н., *yakutprosh@gmail.com*, Степанов М.С.

Томский политехнический университет, г. Томск

Геоэкологическое состояние агрохозяйственных регионов во многом зависит от качества и количества используемых удобрений для повышения плодородия почв. Так, анализ экологического состояния территорий Китайской народной республики с развитым сельским хозяйством, позволил выявить парниковые эффекты [1], эвтрофикация водоёмов [2] и прочие негативные последствия от использования традиционных азотных удобрений. Сегодня создание новых видов удобрений и технологий их использования направлено не только на повышение эффективности агроиндустрии [3-5], но и на исключение возможного отрицательного воздействия на окружающую среду. Экологически безопасное агрохозяйство играет ключевую роль для обеспечения населения полезными продуктами [6-8]. В связи с этим для получения новых видов удобрений всё чаще используются экологически безопасные материалы, включая глинистые минералы [9-10]. Цель авторских исследований – разработка глауконит-фосфатных композитов при помощи методов химической и механохимической активации с оценкой механизмов взаимоотношения между минералом как полифункциональным ингибитором и моноаммонийфосфатом как нутриентом для их будущего использования в эко-безопасной агроиндустрии.

В результате были получены следующие основные результаты. Отсутствие общего смещения базального рефлекса глауконита в валовых пробах композитов (рис. 1) указывает на то, что основная часть нутриентов (моноаммонийфосфат – МАФ) была абсорбирована на базальных поверхностях ультрамикрoагрегатов минерала. Это подтверждается наличием повышенной доли фосфора во внутренней структуре минеральных. В композите Gka90P10 доля фосфора в глауконите достигает 4.0 %, что указывает на повышенную долю абсорбированных фосфатов относительно композита Gko90P10. Сохранность глобулярной формы микрочастиц в композите Gko90P10 является преимуществом для их использования в качестве минеральных добавок. Гранулированная форма улучшает реологические свойства почвы, а также позволяет эффективно вносить удобрения механическим путём.

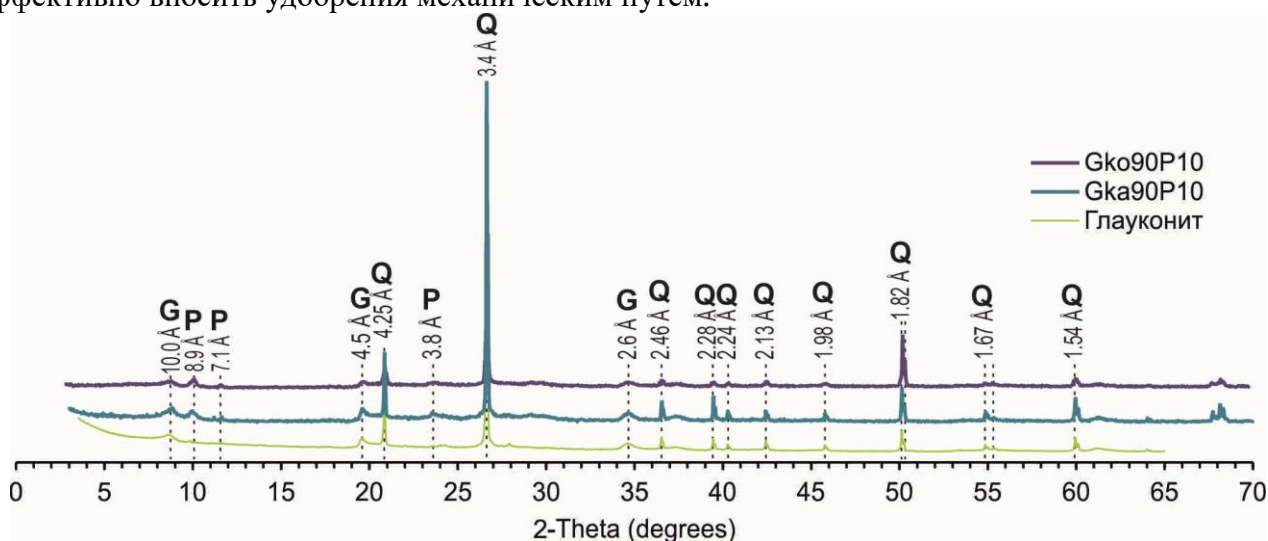


Рис. 1. Рентгеновские дифрактограммы активированных композитов и исходного глауконитового концентрата. G – глауконит, P – фосфатные вещества, Q – кварц.

Толщина кристаллического пакета глауконита в локальных участках до и после химической активации изменяется от 9.9–11.5 Å до 9.3–14.7 Å (рис. 2), что свидетельствует о незначительном расширении кристаллической решетки минерала, вероятно за счёт слабой интеркаляции нутриентов в межслоевое пространство. Это также отражается в увеличении толщины межслоевого пространства глауконита с диапазона 1.9–3.0 Å до 2.4–4.2 Å (рис. 2). Вероятней всего в расширяющиеся структуры пакетов глауконита (сметитовые фазы) интеркалировалась незначительная часть NH_4^{4+} из моноаммонийфосфата. Деформационные колебания ионов фосфата проявляются в ИК-спектрах композитов, приготовленных как механохимическим, так и химическим путём. Пологие ассиметричные колебания Р-О-Н при 906 см^{-1} и 1097 см^{-1} связаны с абсорбированной частью фосфата на краевых базальных поверхностях минерала. Наличие ассиметричных деформационных вибраций NH_4^{4+} свидетельствует об интеркаляции аммония в вакантное межслоевое пространство глауконита. Абсорбированные фосфатные вещества и интеркалированный аммоний будут высвобождаться с пролонгированным эффектом.

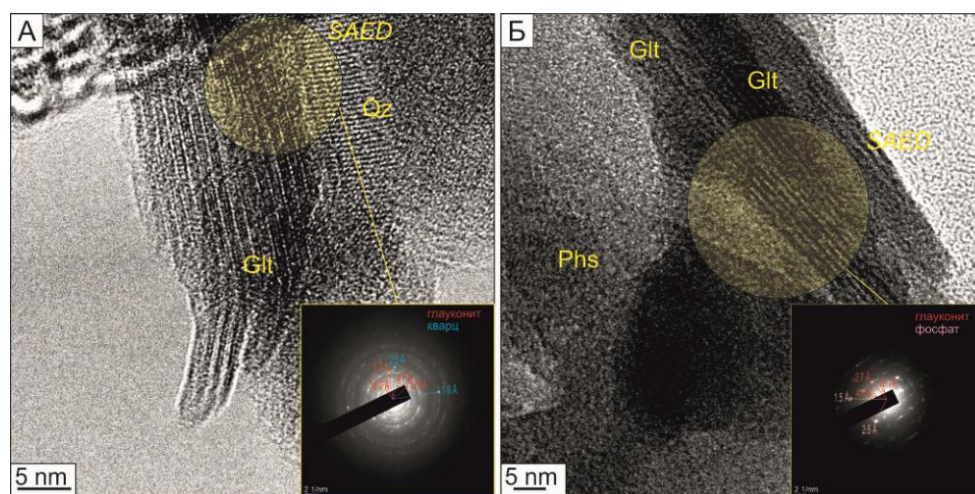


Рис. 2. Снимки просвечивающей электронной микроскопии высокого разрешения глинистых частиц и картины локальной электронной дифракции (SAED) исходного концентрата глауконита с примесями кристаллов кварца (А) и активированного композита Gko90P10 (В). Glt – глауконит, Phs – фосфатные вещества, Qz – кварц.

Потери веса композитах при термогравиметрическом и дифференциальном термическом анализе (ТГА ДТА) составляют 8.2 масс.% и 8.7 масс.% для Gko90P10 и Gka90P10, соответственно, что практически сопоставимо с исходной добавленной частью МАФ. Адсорбированная часть МАФ изменяется от 2.8 до 3.2 масс.% для композитов Gko90P10 и Gka90P10, соответственно, что связано с разложением тонкой поверхностной плёнки на поверхности глауконитовых агрегированных частиц. Абсорбированные фосфаты в микропоровое пространство оцениваются в 0.8–0.9 масс.%. Потери из межслоевого пространства минерала в интервале 302–590 °С и острый эндотермический эффект при 572 °С синхронны как для композитов, так и для исходного глауконита. Это свидетельствует об отсутствии значимой интеркаляции компонентов МАФ в межслой глауконита. Однако, наличие пологого эндотермического эффекта при 648 °С и повышенные потери массы в композитах относительно исходного глауконита в интервале 590–1000 °С указывает на высвобождение МАФ из октаэдрических позиций минерала. Вероятно, это объясняется внедрением положительно заряженных ионов NH_4^{4+} на краевых октаэдрических базальных плоскостях глауконитовых кристаллов.

Приготовленные композиты имеют схожие черты с ранее изученными сложными композитами, состоящими из моноаммонийфосфата и каолинита или смектита. Однако, глауконит как ингибитор моноаммонийфосфата используется впервые. Это отличает изучаемые композиты от ранних исследований каолинита как ингибитора.

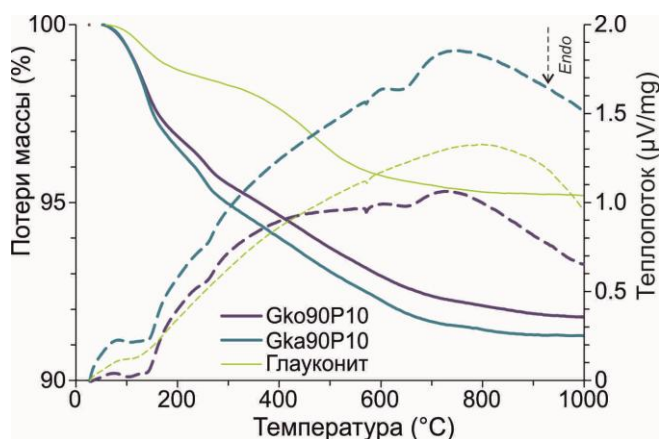


Рис. 3. Кривые ТГА (сплошные линии) и ДТА (пунктирные линии) подготовленных композитов и исходного глауконита.

Глауконит-фосфатные композиты, приготовленные как химическим, так и механохимическим способами имеют следующие общие преимущества. Взаимодействие между глауконитом и моноаммонийфосфатом в соотношении 9:1 позволило создать композиты с тремя основными видами аммонийфосфатного нутриента: адсорбированным, абсорбированным в микропоровое пространство и абсорбированным на краевых базальных плоскостях минеральных частиц. Также вероятно незначительная часть ионов NH_4^+ интеркалирована в межслоевое пространство. Созданные композиты помимо фосфата и аммония содержат обменный калий, что позволяет их оценивать, как NPK удобрения. Различные формы моноаммонийфосфата в композитах и межслоевой калий будут обеспечивать контролируемое высвобождение нутриентов для растений. Одноэтапный химический способ позволяет сохранить полезную глобулярную форму глауконита, в то время как двухэтапный механохимический способ приводит к незначительному повышению абсорбции моноаммонийфосфата на активных поверхностях минерала. Подобные продукты предлагается использовать в качестве удобрения пролонгированного и контролируемого действия для постепенного перехода сельского хозяйства в экологически безопасное направление. «Адресные» функции созданных минеральных композитов будут обеспечиваться за счёт преобладания глауконита как полезного минерального ингибитора.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Гранта Президента РФ для молодых ученых кандидатов наук МК-1825.2022.1.5.

Литература

1. Wang Z. et al. Comparison of greenhouse gas emissions of chemical fertilizer types in China's crop production // *Journal of Cleaner Production*. 2017. V. 141. P. 1267–1274.
2. Erisman J. W. et al. How a century of ammonia synthesis changed the world // *Nature Geoscience*. 2008. V. 1. № 10. P. 636–639.
3. Akiyama H., Yan X., Yagi K. Evaluation of effectiveness of enhanced-efficiency fertilizers as mitigation options for N_2O and NO emissions from agricultural soils: Meta-analysis // *Global Change Biology*. 2010. V. 16. № 6. P. 1837–1846.
4. Camargo J. A., Alonso Á. Ecological and toxicological effects of inorganic nitrogen pollution in aquatic ecosystems: A global assessment // *Environment International*. 2006. V. 32. № 6. P. 831–849.
5. Xiao Y. et al. Effect of bag-controlled release fertilizer on nitrogen loss, greenhouse gas emissions, and nitrogen applied amount in peach production // *Journal of Cleaner Production*. 2019. V. 234. P. 258–274.
6. Tilman D. et al. Agricultural sustainability and intensive production practices // *Nature*. 2002. V. 418. № 6898. C. 671–677.
7. Pretty J. et al. The top 100 questions of importance to the future of global agriculture // *International Journal of Agricultural Sustainability*. 2010. T. 8. № 4. C. 219–236.
8. Tilman D. et al. Forecasting agriculturally driven global environmental change // *Science*. 2001. T. 292. № 5515. P. 281–284.
9. Рудмин М.А. и др. Монтмориллонит как перспективный композитный минерал для создания современных удобрений пролонгированного действия // *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. 2021. Т. 332, № 1. С. 14–22.
10. Rudmin M. et al. Formulation of a slow-release fertilizer by mechanical activation of smectite/glaucanite and urea mixtures // *Applied Clay Science*. Elsevier, 2020. Vol. 196. P. 105775.

АПРОБАЦИЯ МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА ГОРНЫХ ПОРОД ИЗ МАЛОЙ НАВЕСКИ НА РЕНТГЕНОФЛУОРЕСЦЕНТНОМ СПЕКТРОМЕТРЕ XRF-1800 ФИРМЫ SHIMADZU

А.С. Сегренев, *a-chemist@mail.ru*

Институт геологии и природопользования ДВО РАН, г. Благовещенск

Последовательный волнодисперсионный рентгенофлуоресцентный спектрометр Lab Center XRF-1800 фирмы Shimadzu (Япония) является универсальным прибором для определения элементного состава различных объектов. Прибор оснащен мощной рентгеновской трубкой (4 кВт) с Rh-анодом и двумя детекторами - проточным пропорциональным счетчиком (FPC) и сцинтилляционным (SC). Рентгеновская трубка расположена сверху облучаемого образца, образцы могут быть самыми разными – жидкими, твердыми, в виде порошков, пленок, гранул. Для жидких и порошковых проб предусмотрены специальные кюветы.

Данный спектрометр относится к кристалл-дифракционным, поэтому для определения различных элементов необходимы соответствующие кристаллы-анализаторы. Прибор укомплектован 9 кристаллами, что обеспечивает определение элементов в диапазоне от Be до U. Смена кристаллов происходит автоматически в двух направлениях. Камера прибора термостатируемая (35°C), наличие стабилизатора вакуума, обеспечивает высокую воспроизводимость результатов измерений.

Программное обеспечение дает возможность выполнять различные виды анализа: качественно-количественный анализ, количественный анализ с применением стандартных образцов и без них на основе метода фундаментальных параметров, сравнительный анализ (наложение друг на друга до 8 спектров), в данном приборе имеются механизмы передвижения диафрагмы с отверстиями 3 мм и 0,5 мм и вращения платформы, которые позволяют осуществлять анализ в любом положении в пределах диаметра 30 мм [1].

Большое количество различных задач, которое стоит перед геологами, - разведка месторождений и поиск полезных ископаемых, исследование распределения и поведения химических элементов в горных породах и породообразующих минералах – требует глубокого анализа химического и элементного состава горных пород, руд и минералов. Наиболее удобным в этом отношении является рентгенофлуоресцентный метод анализа (РФА), как правило для него используют навески 2-7 г. Но развитие геологии требует от аналитиков исследования элементного и химического состава из более малых навесок.

Целью данной работы является апробация методики рентгенофлуоресцентного определения Cr, Ni и Co в горных породах из малых навесок (до 100 мг).

Методика приготовления излучателей к РФА заключалась в прессовании таблеток на подложке из борной кислоты с использованием полуавтоматического пресса Herzog НТР 40 (Германия). Анализ выполняли на волнодисперсионном спектрометре Lab Center XRF-1800. Градуировку осуществляли с использованием 9 стандартных образцов различных горных пород, при следующих аналитических условиях (Таблица).

Таблица – Аналитические условия измерения

Элемент	Диапазон, ppm	Потенциал, кВ	Сила тока, мА	Кристалл-анализатор	Экспозиция, с	Детектор
Cr	26-213	50	40	LiF	50	SC
Ni	4-126	50	40	LiF	50	SC
Co	1-52	50	40	LiF	50	SC

В результате проведенных исследований была апробирована методика определения Cr, Ni и Co из навески 100 мг методом РФА. Пределы обнаружения составили, ppm: Cr - 4.3, Ni - 1.4, Co - 0.5. Правильность определения элементов подтверждена с помощью анализа двух стандартных образцов не участвующих в калибровке и сопоставлением с данными, полученными методом ИСП-МС в Институте тектоники и геофизики ДВО РАН.

Литература

1. Руководство пользователя. Программное обеспечение PCXRF-E для модели XRF-1800 (P/N 212-21607) // Корпорация Шимадзу: отдел исследования и разработки аналитических измерительных приборов Хадано, Канагава, Япония, 390 с.

ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАСТИТЕЛЬНЫХ СТАНДАРТНЫХ ОБРАЗЦОВ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА ЗОЛЫ РЕНТГЕНОФЛУОРЕСЦЕНТНЫМ МЕТОДОМ

А.С. Сегренев, *a-chemist@mail.ru*

Институт геологии и природопользования ДВО РАН, г. Благовещенск

Исследование биологического цикла химических элементов и их миграции в растительные организмы позволяет проследить формирование этих процессов и их взаимосвязь с изменениями в окружающей среде. Химический состав растений, в некоторой степени отражает элементный состав среды вегетации, а также является показателем видовых и индивидуальных особенностей растения. Поэтому задача определения микроэлементов в растительных образцах является актуальной.

Для определения элементного состава растений используют либо непосредственно высушенный материал, либо предварительное озоление. Предварительное озоление значительно улучшает возможности определения содержаний микроэлементов за счет концентрирования. Наиболее удобным для определения элементного состава золы растений является метод рентгенофлуоресцентного анализа (РФА). Неточность результатов любого относительного метода, в том числе и РФА, среди прочих факторов определяется количеством стандартных образцов состава, используемых для градуировки методик, их соответствием анализируемым материалам, качеством аттестованных параметров, а также их согласованностью и совместимостью. Для золы растений эта проблема актуальна, так как стандартные образцы состава растительных зол очень мало или отсутствуют вовсе по сравнению со стандартными образцами других природных объектов [1-4].

Целью работы было оценить возможность использования растительных стандартных образцов для определения элементного состава золы методом РФА, с помощью сопоставления данных ИСП-МС (масс-спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой) с пересчитанными аттестованными значениями.

В качестве объекта исследования взяты стандартный образец состава листа березы (ЛБ-1) и стандартный образец состава травосмеси (Тр-1) [5,6]. Для получения золы из стандартных образцов использовали способ сухой минерализации в муфельной печи при 450°C., зольность составила 5,89% для ЛБ-1 и 5,53% для Тр-1. Часть золы была проанализирована в аналитическом сертификационном испытательном центре Института проблем технологии микроэлектроники и особо чистых материалов РАН на масс-спектрометре с индуктивно-связанной плазмой X-7 (Thermo Elemental, США), полученные данные сопоставили с пересчитанными аттестованными значениями ЛБ-1 и Тр-1. Обработка этих данных показала, что для большинства элементов результаты ИСП-МС находятся в пределах доверительного интервала аттестованных значений, и расхождение составляет меньше 10%.

В результате проведенных исследований было установлено что основная часть микроэлементов остается в золе после сухой минерализации, это дает возможность использовать данный метод для получения образцов сравнения золы для РФА из растительных стандартов.

Литература

1. Лончих С.В. Стандартные образцы состава природных сред. / С.В. Лончих, Л.Л. Петров. Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 1988. 277 с.

2. Стандартные образцы химического состава природных минеральных веществ. Методические рекомендации/Сост. Н.В. Арнаут. Новосибирск: ИГиГ СО АН СССР, 1990. 220 с.
3. Реестр. Межгосударственных стандартных образцов состава и свойств веществ и материалов государств-участников соглашения. / Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации. Минск: Бюро по стандартам, 2022. 267 с.
4. Каталог ГСО-2022. Стандартные образцы утвержденных типов, допущенные к выпуску и применению на территории Российской Федерации / Росстандарт. Екатеринбург: УНИИМ-филиал ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева», 2022.153 с.
5. GSO 8923 – 2007 (LB-1). Certified reference material of birch leaf composition. — Irkutsk: Institut geokhimii im. A. P. Vernadskogo SO RAN. 2007.
6. GSO 8922 – 2007 (Tr-1). Certified reference material of herbal mixture composition. — Irkutsk: Institut geokhimii im. A. P. Vernadskogo SO RAN. 2007.

ВЛИЯНИЕ ОТХОДОВ ОБОГАЩЕНИЯ ФЛЮОРИТОВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ НА ПОДЗЕМНЫЕ ВОДЫ ПОС. ЯРОСЛАВСКИЙ

А. В. Ветошкина, В. В. Антонченко, Т. В. Кузьмина, *vetoshkina.alena@mail.ru*

Дальневосточный Геологический Институт, г. Владивосток

Экологические последствия от рудных отходов, накопленных в течение нескольких десятилетий комплексами по добыче и переработке руды, имеют масштабный характер. В силу достаточно несовершенных технологий извлечения сырья в отходы обогащения (хвосты) попадает недоизвлеченная руда, а также попутные элементы, содержащиеся в руде. Вследствие увеличения поверхности соприкосновения тонкоизмельченных отходов руды с агентами выветривания, в толще хвостохранилищ происходит активизация гипергенных процессов, способствующих возникновению подвижности химических элементов и возникновения в природных средах их концентраций, значительно превышающих нормативные содержания.

Ярославский горнообогатительный комбинат, расположенный в пос. Ярославский Приорского края, до 2013 г. отрабатывал и обогащал флюоритовые руды крупнейших месторождений флюорита – Вознесенское и Пограничное. Уникальность данных месторождений состоит в том, что помимо флюорита в рудах содержится целый ряд стратегически важных полезных ископаемых: бериллий, литий, рубидий и цезий. Щелочные металлы во флюоритовых рудах Ярославского ГОКа входят в состав слюд и, таким образом, после флотации остаются в отходах [1]. В хвостохранилищах Ярославского ГОКа накоплены десятки миллионов тонн мелкодисперсных хвостов флотационного обогащения, образовавшихся при получении флюоритовых концентратов, представляющих серьезную экологическую угрозу окружающей среде [2, 3].

Хвостохранилище представляет собой разноуровневый каскад из трех прудов, вмещающих отложения хвостов Ярославского ГОКа, состоящих из водонасыщенного пылеватого песка и супеси текучей с прослоями мелкого песка. Все три чаши хвостохранилищ практически полностью заполнены водой во избежание пыления отходов обогащения. С 2013 г. работы по разработке и обогащению флюоритовой руды приостановлены до внедрения на производство современных эффективных технологий по более полному комплексному извлечению и вовлечению отходов обогащения в переработку. Каскад хвостохранилищ расположен на абсолютных отметках 125-130 м, возвышаясь относительно поселка порядка 30 м, вызывая опасение населения, что вследствие инфильтрации может происходить загрязнение источников нецентрализованного водоснабжения. В силу невысокого качества централизованного водоснабжения поселка, родники, скважина и колодцы пользуются большой популярностью у местного населения.

Материалы для исследований были получены в рамках полевых работ в июне 2022 г. Были опробованы техногенные воды, накопленные в хвостохранилищах с отходами от добычи флюоритовых руд и подземные пресные вод в пос. Ярославский, используемые населением в качестве нецентрализованных источников пресных вод. Хвостохранилища были опробованы 5 пробами воды, природные подземные воды опробованы из общественной скважины, колодца и двух родников в количестве 4 проб. Общественная скважина по ул. Комсомольская и колодец по ул. Нижняя находятся на отдалении 500 м и 600 м соответственно от хвостохранилищ (рис.1).

Каждая проба отбиралась в емкость из полипропилена и направлялась в Аналитический центр коллективного пользования при Дальневосточном геологическом институте ДВО РАН. Фильтрация проб осуществлялась через мембранный фильтр (0,45 микрон) с помощью

вакуумного насоса. 55 элементов определялись методом масспектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ИСП-МС). Спектрометр Agilent 7700х, Agilent Techn., США. Макрокатионы определялись методом атомно-эмиссионной спектрометрии (спектрометр iCAP 7600 Duo), макроанионы методом ионной хроматографии (ионный жидкостный хроматограф LC-20, Shimadzu, Япония). Общая минерализация воды (Σn) определялась как сумма макрокомпонентов: $\Sigma n = [Na^+] + [K^+] + [Ca^{2+}] + [Mg^{2+}] + [Si^{4+}] + [SO_4^{2-}] + [Cl^-] + [HCO_3^-]$.

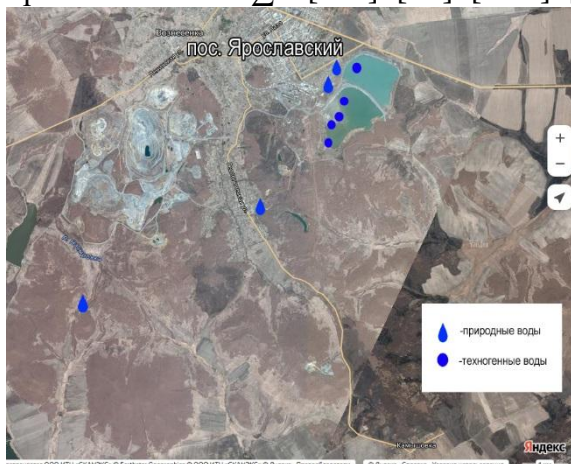


Рисунок 1. Местоположение отбора проб воды

Для интерпретации и анализа данных проводился стандартный анализ среднестатистических параметров с использованием программы Excel, SigmaPlot 12.0. Для построения диаграммы Пайпера использовалась программа AquaChem 5.1.

Для выявления индикаторных показателей использовались соотношения элементов: LREE/HREE, а также сумма редкоземельных элементов: $\Sigma PЗЭ = La + Ce + Pr + Nd + Sm + Eu + Gd + Dy + Ho + Tb + Er + Yb + Lu$.

При интерпретации геохимических исследований широко распространено нормирование содержаний РЗЭ к их содержанию в эталонных образцах с целью определения процессов фракционирования элементов в различных физико-химических условиях [4]. В настоящих исследованиях содержание РЗЭ мы нормировали на североамериканский сланец (NASC) [5, 6].

Для интерпретации и анализа данных проводился стандартный анализ среднестатистических параметров с использованием программы Excel, SigmaPlot 12.0. Для построения диаграммы Пайпера использовалась программа AquaChem 5.1.

Пробы вод хвостохранилищ по минерализации относятся от пресных до солоноватых с минерализацией от 567,8 до 1593,6 мг/дм³. Среди обследованных природных подземных вод есть ультрапресные, пресные, с относительно повышенной минерализацией: от 110 до 675,9 мг/дм³. Техногенные воды по показателю рН являются слабощелочными. Природные подземные воды являются нейтральными (табл.1) .

Таблица 1 – Состав макроэлементов в исследованных пробах техногенных вод хвостохранилищ и природных подземных вод на территории пос. Ярославский в 2022 году (мг/дм³)

Номер пробы	Тип вод	рН	HCO ₃	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	F ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Li ⁺	М
ЯВ-1	техногенные	8,0	360,0	124	21,9	0,77	11,1	11,5	7,32	173	13,9	0,41	723,9
ЯВ -2		7,5	487,2	620	23,4	<0,1	8,36	85,7	23,1	317	28,1	0,77	1593,6
ЯВ -3		7,9	373,4	129	30,2	0,21	10,1	19,4	7,16	171	22,8	0,35	763,6
ЯВ -4		7,9	269,9	111	16,5	0,40	7,34	7,14	6,03	140	9,18	0,29	567,8
ЯВ -5		7,9	393,9	432	36,7	<0,1	13,8	17,4	13,7	313	23,7	0,76	1245,0
ЯВ -6	природные	6,6	119,0	12,2	3,28	0,28	<0,3	19,6	8,79	11,5	0,74	<0,01	175,4
ЯВ -7		6,9	163,2	31,5	5,15	0,16	<0,3	40,4	8,55	12,0	0,53	<0,01	261,5
ЯВ -8		6,9	70,8	9,05	2,54	0,21	0,79	16,9	4,67	4,92	0,11	<0,01	110,0
ЯВ -9		6,9	179,8	225	70,6	5,08	0,94	134	20,3	39,4	0,79	<0,01	675,9

По спектрам распределения концентраций редкоземельных элементов, нормированных на северо-американский сланец (рис. 2), мы видим, что воды из общественной скважины по ул. Комсомольская и колодца по ул. Нижняя имеют тот же характер распределения, что техногенные воды и атмосферные осадки с четко выраженной положительной европиевой аномалией. Два других опробованных родника имеют отличный характер распределения РЗЭ с наличием отрицательной цериевой аномалией и слабой аномалией гольмия, что характерно для вод данной гидрогеологической области [7]. Отличие в спектрах распределения РЗЭ говорит о различном характере питания источников подземных вод. Воды в общественной скважине и колодце, расположенных в непосредственной близости от хвостохранилища, напорные. Вода, достигая дневной поверхности изливается самотеком, вокруг колодца сформировалась заболоченность участка.

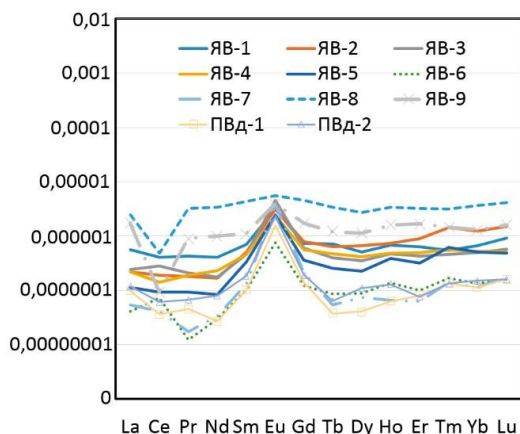


Рисунок 2. Спектры распределения концентраций редкоземельных элементов в водах пос. Ярославский, нормализованные к северо-американскому сланцу (NASK): ЯВ-1 – ЯВ-5 – техногенные воды хвостохранилища; ЯВ-6 – ЯВ-9 – природные подземные воды, ПВд-1 – ПВд-2 – атмосферные осадки.

Предварительный анализ содержания микрокомпонентов в подземных природных водах пос. Ярославский, используемых населением в питьевых целях, показал, что вода в колодце по ул. Нижняя имеет в своем составе относительно других источников повышенные содержания марганца, железа, цинка, мышьяка, бария, лития, кобальта. Содержание марганца в воде колодца составляет 1,3 ПДК [8]. По другим элементам в четырех исследованных источниках подземных вод пос. Ярославский, превышения нормативных показателей не выявлено. По содержанию химических элементов воды являются безопасными. Повышенные содержания ряда элементов в воде колодца, возможно связаны с рудопроявлением района исследований.

Литература

1. Переработка флюоритсодержащего минерального сырья и отходов Ярославского горно-обогатительного комбината: монография / П.С. Гордиенко, С.Б. Ярусова, Г.Ф. Крысенко [и др.]. — М. : РИОР : ИНФРА-М, 2018. — 115 с. — (Высшее образование: Бакалавриат). — DOI: <https://doi.org/10.12737/1734-0>
2. Фатов А. С., Лихникевич Е. Г. Гидрохимическая технология переработки хвостов обогащения Ярославского ГОКа — реального источника литиевой продукции в журн. Труды Кольского научного центра РАН, 2018
3. Комаров, М.А. Горно-промышленные отходы – дополнительный источник минерального сырья / М.А. Комаров, В.А. Алискеров, В.И. Кусевич, В.Л. Заверткин // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. – 2007. – № 4 [Электронный ресурс]. URL: <http://www.vipstd.ru/gim/content/view/407/197/>.
4. The European shale: an improved data set for normalisation of rare earth element and yttrium concentrations in environmental and biological samples from Europe / M. Bau, K. Schmidt, A. Pack, V. Bendel, D. Kraemer // Applied Geochemistry. - 2018. - V. 90. - P. 142–149.
5. The characteristics, occurrence, and geochemical behavior of rare earth elements in the environment: a review / Zdzisław M. Migaszewska, A. Gałuszkaa // Critical Reviews in Environmental Science and Technology. – 2015. - V. 45. - Iss. 5. - P. 429–471.
6. The North American Shale Composite: Its Compilation, Major and Trace Element Characteristics / L. P. Gromet, R. F. Dymek, L. A. Haskin, R. L. Korotev // Geochimica et Cosmochimica Acta. - 1984. - V. 48. Iss. 12. - P. 2469–2482.
7. Вах Е.А. Геохимия редкоземельных элементов в природных и техногенных водах юга Дальнего Востока России. – Владивосток: Дальневост.федерал.ун-т. 2014. – 160 с.
8. СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания").

АНАЛИЗ МИКРОЧАСТИЦ СВИНЦА НА ПОВЕРХНОСТИ ЛИСТЬЕВ ТОПОЛЯ ВБЛИЗИ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ЗАВОДОВ

Л.А.Дорохова¹, *liubov.ad@yandex.ru*, Д.В.Юсупов², *yusupovd@mail.ru*,
Л.М.Павлова¹, *pav@ascnet.ru*

¹ Институт геологии и природопользования ДВО РАН, Благовещенск

² Амурский государственный университет, г. Благовещенск

Листья древесных растений являются природным планшетом, биомонитором, аккумулирующим пыль и аэрозоли из атмосферного воздуха [1]. Они поглощают выбросы автотранспорта, промышленных объектов и способны объективно отражать загрязнение окружающей среды металлами [2]. В биогеохимическом мониторинге урбанизированных территорий используют листья тополей [4]. Сорта, гибриды, клоны тополей применялись в защитных и озеленительных насаждениях в промышленных, селитебных и рекреационных зонах городов.

В начале сентября 2017 года в г. Красноярске на территории Советского района, где размещаются промышленные зоны алюминиевого и металлургического заводов проведен отбор проб листьев тополя согласно методическим рекомендациям [3]. Объектом исследования служили листья тополя (*Populus balsamifera* L.). Пробы отобраны по сети 2 × 2 км, высушивали при комнатной температуре в крафт пакетах. Листья водой не промывали, чтобы сохранить пыль на их поверхности.

Лабораторные исследования проводили в Международном научно-образовательном центре «Урановая геология» имени Л.П. Рихванова в ТПУ на сканирующем электронном микроскопе Hitachi S-3400N с помощью энергодисперсионного спектрометра Bruker XFlash 4010. Образцы с фрагментами листьев закрепляли на предметном столике, изучали в режиме низкого вакуума с детектором обратно-рассеянных электронов.

В результате исследования на поверхности образцов листьев тополя, отобранных в зоне влияния Красноярского металлургического завода, обнаружено большое количество субмикроскопических Pb-содержащих частиц, по составу близких к галениту (табл. 1). Содержание серы и свинца приведены к 100% без учета матричных элементов листа. Наблюдаются отдельные кристаллы разнообразных форм: кубические размером от 4-х до 0,6 мкм, удлиненные призмы размером от 2,5 до 8 мкм, округлые 0,5-0,6 мкм и в виде сростков кристаллов до 9 мкм (рис. 1).

Таблица 1. Содержание серы и свинца (масс.%) в микрочастицах на поверхности листьев тополя и в галените

Элемент	Микрочастицы				Галенит
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	
S	10,69	6,93	7,59	10,13	13,40
Pb	89,31	93,07	92,41	89,87	86,60

Красноярский металлургический завод (КраМЗ) – одно из крупных предприятий цветной металлургии России. Он осуществляет переработку алюминия и алюминиевых сплавов, обеспечивает выпуск слитков, прессованных профилей, труб, штамповок из различных алюминиевых сплавов. Основные производства – плавильное, прессовое и кузнечное. В производственный процесс данного предприятия внедрена технология диспергирования Pb при выплавке автоматных алюминиевых сплавов определенных марок.

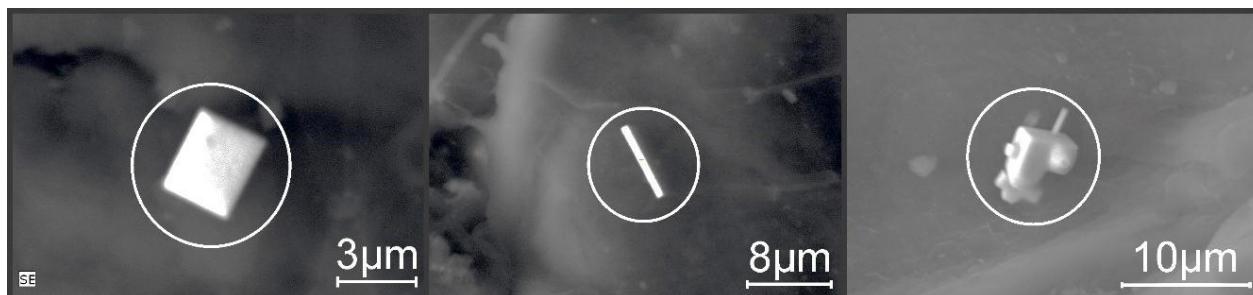


Рис. 1 Формы Pb-содержащих микрочастиц на поверхности листьев тополя в зоне влияния Красноярского металлургического завода

Алюминиевые сплавы систем Al-Si-Cu, Al-Si-Cu-Mg и др. дополнительно легируют легкоплавким Pb с целью улучшить обрабатываемость данных сплавов резкой на станках-автоматах [5]. В плавильном цехе КраМЗ функционирует промышленная установка электромагнитного перемешивания расплава жидких лигатур Al-Pb в транспортном ковше для легирования сплавов в плавильно-литейных агрегатах, где производится отливка цилиндрических слитков с размером частиц Pb в их структуре 5-15 мкм. Для приготовления автоматных сплавов используется брикетированная лигатура Al-Pb, состоящая из измельченной алюминиевой стружки и гранул из свинца диаметром 2-3 мм в соотношении: Al – 80% и Pb – 20%, Al – 50% и Pb – 50% [5].

Предположительно, потери Pb происходят в процессе изготовления гранульной и брикетированной лигатуры. Система аспирации пространства над ковшом с металлом обеспечивает удаление пыли и газов, в том числе образующихся при возгонах твердых аэрозолей Pb, за пределы производственного цеха. Соотношение дисперсного состава частиц пыли, выделяющейся в воздушную среду, приведено в работе [6] на примере свинцового производства. Представленные данные указывают, что при производстве свинца в воздушную среду выделяют мелкодисперсные аэрозоли; также наблюдаются значительные фазовые сдвиги в зависимости от технологического оборудования и места отбора проб. Содержание Pb в аэрозолях, выделяемых из рафинировочных котлов, составляло 28 %, у шихтосмесителя – 45 %.

Таким образом, микрочастицы свинца, обнаруженные на поверхности листьев тополя, являются прямыми минералогическими индикаторами воздействия металлургического предприятия соответствующего профиля на окружающую среду, а также позволяют косвенно установить применяемую технологию производства.

Литература

1. Баргалы Р. Биогеохимия наземных растений. – М.: ГЕОС, 2005. – 457 с.
2. Есенжолова А.Ж., Панин М.С. Биоиндикационная способность листьев древесных и кустарниковых насаждений для оценки загрязнения среды тяжелыми металлами в зоне действия металлургического комплекса // Экология и промышленность России. 2013. №7. С. 49-53.
3. Зырин Н.Г., Малахов С.Г. Методические рекомендации по проведению полевых и лабораторных исследований почв и растений при контроле загрязнения окружающей среды металлам. – М.: Московское отделение гидрометеоздата, 1981. – 110 с.
4. Москаленко Н.Н. Биогеохимические особенности зеленых насаждений урбанизированных территорий: (на примере г. Москвы): автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук / Москаленко Наталья Николаевна; Ин-т минерал., геохим. и кристал. редких элементов. – Москва, 1991. – 24 с.
5. Чеглаков В.В. Совершенствование технологии выплавки автоматных алюминиевых сплавов с целью получения литых заготовок с заданными структурой и свойствами: дисс. ... канд. тех. наук / Чеглаков Владимир Викторович. – Красноярск, 2019. – 123 с.
6. Шушкевич Н.И. Влияние свинцового производства на популяцию населения промышленного города: автореф. дис. ... д-ра биол. наук / Шушкевич Нина Ивановна. – Москва, 2007. – 41 с.

ЭКОСИСТЕМНЫЕ УСЛУГИ НА ПРИМЕРЕ ПРИБРЕЖНЫХ ЭКОСИСТЕМ ВОСТОЧНОЙ АЗИИ

А.И. Желтова, *zhialisa@mail.ru*

РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, г. Москва

Аннотация: В настолько небольших по площади территориях, как прибрежные экосистемы скрыто такое огромное количество ресурсов, это заставляет задуматься о их важности для человечества.

Ключевые слова: прибрежные экосистемы, углерод, экосистемные функции, экосистемные услуги.

Прибрежные экосистемы есть практически во всех природных зонах России и мира в целом, но в общей площади океана они занимают не так много места. И несмотря на это, они приносят человечеству множество благ.

Целью данной работы является изучение функций прибрежноморских экосистем Восточной Азии.

К региону Восточной Азии относятся:

- Китай
- Гонконг, специальный административный район КНР
- Макао, специальный административный район КНР
- Монголия
- Япония
- КНДР
- Республика Корея
- Китайская Республика (Тайвань)

В Восточной Азии встречаются такие виды прибрежных экосистем как: мангровые заросли, лагуны, луга с морскими травами, эстуарии, пляжи, рифы, марши.

Экосистемные услуги — это выгоды, которые человек получает от того или иного вида экосистем. [2]

Прибрежные экосистемы предоставляют набор ценных преимуществ (экосистемных услуг), от которых люди зависят в плане продовольствия, экономической деятельности, вдохновения и удовольствия.

Самой важной функцией является регуляция количества углекислого газа в атмосфере. Прибрежные экосистемы помогают бороться с глобальным потеплением. Мангровые леса, луга с морскими травами и водорослями, марши на границе океана и суши – все эти виды прибрежных экосистем очень хорошо всасывают углекислый газ из воздуха, после чего углерод хранится под землей, в океанических отложениях. Такое поглощение углекислого газа из атмосферы называется секвестрацией углерода. На вклад прибрежных экосистем приходится почти половина всего секвестрированного углерода, хотя их площадь совсем невелика. Их отличие, как накопителей углерода, от обычных растений состоит в том, что они поглощают его из атмосферы намного интенсивней и на более долгий срок, а обычные растения хранят углерод в себе только на время своей жизни. [1]

Растения прибрежной зоны производят значительное количество кислорода, которым насыщают водные толщи.

Прибрежные экосистемы выполняют еще не одну полезную для человечества функцию. Они являются важным источником пищи, так как основная жизнь в море сконцентрирована возле берега.

Также рифы и мангровые заросли, например, служат защитой от эрозии почв и сильных штормов.[2]

А морские травы значительно улучшают качество воды, уменьшая количество тяжелых металлов и других токсичных веществ, а также снижают уровень кислотности в прибрежных водах.

Обитатели прибрежных экосистем дают такие ресурсы как древесину, волокно и топливо. В своих корнях растения побережий хорошо задерживают пресную воду, которой может пользоваться человек. Из многих видов водорослей делают лекарственные препараты, которые нам просто необходимы для жизни.

Прибрежные экосистемы кроме материальных благ преподносят человеку и культурные. Они предоставляют рекреационную функцию, очень интересующую туристов, да и в конце концов эстетическую.

Но человечество не относится с такой же заботой к обитателям прибрежных экосистем, как они к нему.[2] (Рисунок 1)

Экосистемные услуги						
Экосистемные услуги	Эстуарии	Мангровые заросли	Лагуны и соленые пруды	Приливная зона	Морские травы	Коралловые рифы
Биоразнообразие	+	+	+	+	+	+
Обеспечивающие						
Еда	+	+	+	+	+	+
Волокно, древесина, топливо	+	+	+	+	+	+
Лекарства, другие ресурсы	+	+	+	+	+	+
Регулирующие						
Биологическая регуляция	+	+	+	+	+	+
Хранение и удержание пресной воды	+	+	+	+	+	+
Гидрологический баланс	+	+	+	+	+	+
Регулирование атмосферы и климата	+	+	+	+	+	+
Борьба с болезнями человека	+	+	+	+	+	+
Переработка отходов	+	+	+	+	+	+
Защита от штормов	+	+	+	+	+	+
Борьба с эрозией	+	+	+	+	+	+
Культурные						
Культурные и бытовые удобства	+	+	+	+	+	+
Рекреационный	+	+	+	+	+	+
Эстетика	+	+	+	+	+	+
Поддерживающие						
Биохимическая	+	+	+	+	+	+
Круговорот питательных веществ и плодородие	+	+	+	+	+	+

Рисунок 1. Экосистемные услуги

Экосистемные услуги – неотъемлемая часть ресурсного обеспечения человечества. На примере такого малого по площади сообщества показано, насколько значителен вклад экосистем в систему глобальных общественных благ.

Литература:

- Орехова Н.А., Коновалов С.К., Медведев Е.В. Особенности регионального баланса неорганического углерода морских экосистем в условиях антропогенной нагрузки: Текст научной статьи по специальности «Науки о Земле и смежные экологические науки» - Морской гидрофизический журнал - 2019 – том 35 №3 250с.
- Béné C., ... E.H. Allison, in Treatise on Estuarine and Coastal Science // Ecological Economics of Estuaries and Coasts – 2011 - <https://www.sciencedirect.com/topics/earth-and-planetary-sciences/coastal-ecosystem>

ОЦЕНКА ТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВ ВДОЛЬ ТРАССЫ А-121 «СОРТАВАЛА»

Т.А. Ищук, *Rabbit0189@mail.ru*, В.Е. Вертебный, *verteb22@mail.ru*, Ю.В. Хомяков

Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова

Необходимым элементом организации и проведения биологического мониторинга являются почвенные исследования. Они играют немаловажную роль в развитии концепции экологического мониторинга, обосновывают теоретическую значимость мероприятий и являются базой для разработки практических методов мониторинга.

На почвы придорожных территорий оказывается довольно большая антропогенная нагрузка, они аккумулируют большое количество различных загрязнителей, что приводит к кардинальному изменению свойств почвы и всесторонней деградации ландшафтов. Исходя из этого, цель данного исследования состояла в определении содержания нефтепродуктов (НП) и бенз(а)пирена (БП) в почвенных образцах, отобранных на разном удалении от выбранных источников загрязнения.

В процессе трансформации нефтяных соединений в почве происходит накопление высокомолекулярных конденсированных ароматических структур с высокой степенью водородной ненасыщенности. Количество их зависит от времени трансформации нефти в почве и степени активности протекания этого процесса в верхнем горизонте, чему способствует свободный доступ кислорода. [3]

Главным маркером загрязнения почв полициклическими ароматическими углеводородами, подлежащим обязательному контролю во всем мире, является бенз(а)пирен – канцероген и мутаген 1-го класса опасности. Минимальное содержание БП в почве, при котором повышается его содержание в растениях, измеряется величинами 0,05–0,1 мг/кг почвы. ПДК бенз(а)пирена в почве составляет 0,02 мг/кг. [1]

Для исследования содержания НП и БП в почве, было заложено 10 временных пробных площадей (ВПП), на которых отбирались образцы для дальнейшего анализа. Отбор почвенных проб проводили на разном расстоянии от источников загрязнения, которыми являлись автодорога А-121 «Сортавала» - автомобильная дорога общего пользования федерального значения Санкт-Петербург – Сортавала – автомобильная дорога Р-21 «Кола» и автозаправка «Роснефть», расположенная на 35-ом километре трассы А-121 «Сортавала». Исследования проводились летом 2022 года. (рис.1)



Рисунок 1.
Расположение
временных
пробных площадей

Отбор проб почв проводили в соответствии с ГОСТом 17.4.4.02.84-2017 «Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического и гельминтологического анализа.» Стандарт предназначен для контроля общего и локального загрязнения почвы в районах воздействия промышленных, сельскохозяйственных, хозяйственно-бытовых, транспортных источников загрязнения. В основе лежит методом конверта: выбирали 5 точек на местности, чтобы при мысленном соединении точек линиями они давали рисунок запечатанного конверта. Из каждой точки отбирали не менее 0,5 кг почвы с глубины 0-20 см. [2]

Определение содержания НП в почве проводили согласно ПНД Ф 16.1:2.2.22-98. Данная методика предназначена для определения массовой доли нефтепродуктов в минеральных, органических, органо-минеральных почвах и донных отложениях методом ИК-спектрометрии на анализаторах нефтепродуктов. Метод заключается в экстракции нефтепродуктов из почв и донных отложений четыреххлористым углеродом, хроматографическом отделении нефтепродуктов от сопутствующих органических соединений других классов, и количественном определении нефтепродуктов по интенсивности поглощения в ИК-области спектра.

Почвы и грунты считаются техногенно загрязненными, если концентрации нефтепродуктов достигают величин, при которых в природных комплексах возникают негативные экологические сдвиги, и они не могут сами справиться с загрязнением. В среднем нижний предел концентраций нефти и НП в загрязненной почве изменяется от 0,1 до 1,0 г/кг. [3]

Содержание БП в почве определяли в соответствии с МУК 4.1.1274-03 (Методы контроля. Химические факторы. Измерение массовой доли бенз(а)пирена в пробах почв, грунтов, донных отложений и твердых отходов методом ВЭЖХ с использованием флуориметрического детектора). Метод измерения основан на экстракции бенз(а)пирена из проб почв хлористым метиленом, концентрировании экстракта, очистке его методом колоночной хроматографии, хроматографическом разделении с использованием градуировочной зависимости.

Полученные результаты исследования позволяют дать оценку поверхностного характера загрязнения на мониторинговых площадях. (табл.1)

Таблица 1 Содержание бензапирена и нефтепродуктов в исследуемых пробах почв

Место отбора проб	Расстояние от источника загрязнения, м	Бенз(а)пирен (БП), мг/кг	Нефте-продукты (НП), мг/кг
ВПП 1 (авто-дорога)	15	0,333	166,5
ВПП 2 (авто-дорога)	100	0,027	36,9
ВПП 3 (авто-дорога)	200	<0,005	23,1
ВПП 4 (авто-дорога)	300	0,008	43,4
ВПП 6 (АЗС)	15	0,015	104,5
ВПП 7 (АЗС)	100	0,017	51,1
ВПП 8 (АЗС)	200	0,017	30,7
ВПП 9 (АЗС)	15	0,028	41,3
ВПП 10 (АЗС)	100	0,008	54,7
ВПП 11 (АЗС)	200	0,008	46,8

Наибольшие показатели содержания нефтепродуктов зафиксированы на ВПП2 и ВПП6 (166,5 и 104,5 соответственно), это участки наиболее приближенные к источникам загрязнения. По мере удаления от дороги и АЗС показатели находятся приблизительно в одном диапазоне значений. Предельно допустимая концентрация (ПДК) нефтепродуктов в почве указана в ГОСТе 17.4.1.02-83 «Почвы».

Все показатели на исследуемых участках можно отнести к допустимому уровню загрязнения.

Если говорить о содержании бенз(а)пирена в исследуемых почвенных образцах, то на ВПП1 наблюдается явное превышение значения ПДК, это наиболее близко расположенный участок к автомобильной дороге. На расстоянии 100м от источника загрязнения также сохраняется незначительное превышение допустимого значения концентрации. В пробах, отобранных вблизи АЗС полученные результаты содержания БП находятся в пределах нормы, за исключением самого близко расположенного участка на расстоянии 15м.

Литература

1. Габов Д.Н., Безносиков В.А., Кондратенко Б.М., Яковлева Е.В. Критерии оценки загрязнения почв полициклическими ароматическими углеводородами // Экология и промышленность России. 2008. № 11. С. 42-45.
2. ГОСТ 17.4.4.02.84-2017 «Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического и гельминтологического анализа.»
3. Цомбуева Б.В. Техногенное загрязнение почв в зоне влияния нефтедобывающего комплекса Республики Калмыкия // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 6.

ГРИБЫ: ИХ ЭВОЛЮЦИЯ, МОРФОСТРУКТУРНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ, КРАТКАЯ ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

В. М. Катола

Институт геологии и природопользования ДВО РАН, Благовещенск

Грибы представляют одну из самых многочисленных и филогенетически разнородную группу одно- и многоклеточных аэрофильных организмов с гетеротрофным питанием. Будучи эукариотами, они сочетают в себе некоторые признаки как растений (имеют клеточную стенку), так и животных (имеют настоящее ядро). Однако формой и структурой, жизненными циклами, быстрым ростом в трофофазе и меньшим в идиофазе, особенностью химического состава клеток мицелия, продуктов их обмена, синтезом кормового белка, ферментов, антибиотиков и витаминов существенно отличаются от них. Грибы распространены в атмосфере, наземных экосистемах и водоёмах, выполняя при этом важнейшие биосферные функции. Они участвуют в биогеохимическом круговороте веществ, дифференциации химических элементов, разлагают и минерализуют органический субстрат до простых неорганических соединений. По морфологическим, ультраструктурным, биохимическим и молекулярно-генетическим признакам выделяют группу Истинные грибы (царство *Mycota* или *Fungi*) и меньшую группу — Псевдомицеты, входящие в царство *Chromista* наряду с водорослями и некоторыми протистами.

В процессе эволюции истинные грибы обрели разветвленный мицелий, возможность существовать в разнообразных экологических нишах и способность обмениваться с растениями и животными специфическими сигнальными молекулами, которые выделяют в среду [5]. Заодно приобрели ферменты-деполимеразы и токсичные вещества, которые разрушают ткани хозяина для питания их содержимым. Грибам присущи эндоцитоз, апикальный рост гиф и взаимодействия с представителями других царств [3, 4]. После того, как в ордовике — силуре (по одним оценкам около 500- 421 млн. лет назад, по другим — 480-460 млн. лет назад) грибы вместе с растениями вышли из воды на сушу [1, 6, 9] плесени и дрожжевые формы превратились в сапрофитов, другие — в симбионтов (микоризы растений, лишайники, микробиом человека и животных), третьи стали паразитами (отдельные представители родов *Penicillium*, *Aspergillus*, *Mucor*, *Fusarium* и др.). Из-за скудности палеонтологической информации судить о возрасте грибов, роли в древних экосистемах и связях с растениями и животными сложно, хотя фоссилизированные бактерии известны практически во всех типах осадочных пород. Достоверные находки спор (конидий), склероций, плодовых тел и гифов обнаружены лишь в отложениях от четвертичного периода до верхнего палеозоя. И. В. Каратыгин [5] допускал, что грибы могли появиться 2- 1,5 млрд. лет назад, когда в атмосфере возросло количество кислорода. Дискуссии по этому вопросу продолжаются, но к настоящему времени палеонтологическая история грибов становится более определенной. Так, А. Н. Knoll оценил их возраст в 1 млрд. лет, D. S. Neckman с соавторами считают, что основные линии грибов могли обитать гораздо раньше — около 1,5 млрд. лет назад, тогда как зеленые водоросли возникли примерно 1 млрд. лет. Т. Н. Герман и В. Н. Подковыров [2] в микрофоссилиях лахандинской серии (Майская впадина Учуро-Майского р-на Юго-Восточной Сибири возрастом 1015 -1025 млн. лет) обнаружили структуры в виде сетчатого мицелия и разветвленных гифов с выступами и выростами, образующих замкнутые кольца. К. Е. Наговицин [8] подробно исследовал остатки этой протерозойской лахандинской биоты, выделив три ее типа (рис. 1): **I тип.** Крупные оболочки *Caudosphaera* («шарик с хвостом») с четырьмя их вариантами — мелкими с одиночным полым отростком (фиг. № 1), крупными со светлой оболочкой и отростком из пучка тонких нитей (фиг. № 2), морфологически идентичными, но с темной оболочкой (фиг. № 3), и такими же светлыми оболочками с разрывом (фиг. № 4); **II тип.** Эллипсоидные, чаще грушевидные светлые тонкостенные

оболочки, которые на суженном участке имеют темную прикрепительную структуру: с внутренней стороны она полусферическая, с наружной — имеет короткий отросток (№ 12). Сохранились два экземпляра, имеющих по две оболочки с длиной нитью (фиг. № 14). Это предполагает существование единого мицелиеподобного каркаса. **III тип.** Ячеистые строения, образованные срастанием выростов тела внутри кольцевидных структур. По мере их увеличения до 400-500 мкм наблюдается увеличение числа ячеек, чьи размеры сильно различаются между собой (фиг. № 17). Талом плоский, изометрической или вытянутой формы с ровными очертаниями. На одном из экземпляров имеется два отростка (фиг. № 18). По мнению автора эти остатки указывают на возраст в один миллиард лет тому.

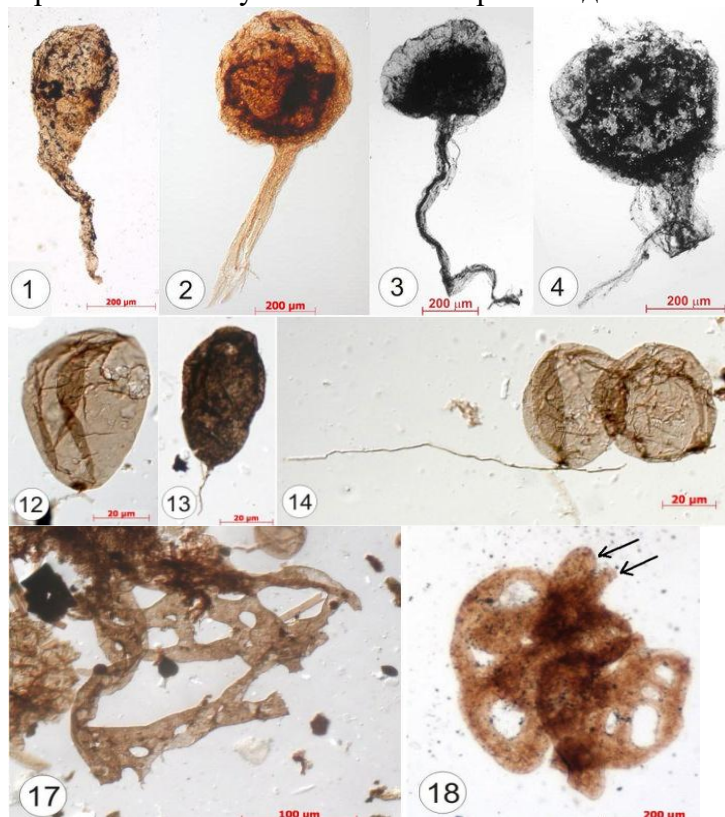


Рис. 1. Фрагменты ископаемых остатков протерозойской биоты Сибири (К. Е. Наговицин, 2008)

Позже в образцах из формации Грасси-Бэй возрастом около 1 010-890 млн. лет (Арктическая Канада) был дифференцирован гриб *Ourasphaira giraldae*их, различные формы водорослей и акритархи, клетки которых имели двойные клеточные стенки (КС) и длинные нити, разделенные плотными септами [18]. Наконец, буквально недавно в доломитовом сланце из супергруппы Мбуджи-Майи (Конго) возрастом от 810 до 715 миллионов лет обнаружили сохранившейся плотный мицелий с остаточным хитином. По имеющимся палеонтологическим находкам большинством исследователей принято, что в верхнем докембрии обитали водные грибы, в кембрии (примерно 600 млн. лет назад) появились хитридиевые грибы, в силуре (около 430 млн. лет назад) произошел переход грибов из водного до наземного существования [8]. То есть, в девонском периоде (около 400 млн. лет) эволюция грибов шла совместно с эволюцией растений. Причем, если в кембрии, ордовике и большей части силура растения (преимущественно водоросли) распространялись в морях, то в раннем девоне наземные экосистемы уже были богаты разнообразной растительностью [3, 9]. Протерозойская эра или эра первобытной жизни длилась 2 млрд. лет. В течение этого времени бактерии и водоросли достигли наибольшего развития, количество кислорода в атмосфере увеличилось до 1%, возникли полезные ископаемые, физико-химическое и микробиологическое выветривания горных пород, изменились химический состав океана, климат, длительность суток и др.. Появляются различные типы размножения, многоклеточные формы, биоминерализация, хищничество.

Эволюция морфологии грибов остановилась на формировании нитевидного мицелия с высоким внутриклеточным давлением (2,5 атмосфер). Тем самым наделив его огромной площадью поверхности, обеспечивающей расщепление и поглощения органических веществ всем телом с проникновением и продвижением мицелия в глубине субстрата. В цитоплазме, перетекающей у части грибов вдоль гифы, появляются эндоплазматический ретикулум, митохондрии, рибосомы, аппарат Гольджи, лизосомы, одно или несколько ядер и вакуоли, содержащие запасы питательных веществ, в основном гликоген. Не содержатся пластиды и хлорофилл, в ряде случаев по иному проходит митоз и мейоз. Кроме основной функции (синтеза АТФ) митохондрии у дрожжей синтезируют жирные кислоты, липиды, эргостеролы, мобилизуют гликоген и др. [4]. Большая скорость сферического (у дрожжей) и апикального (у мицелиальных грибов) роста и размножения позволяет грибам быстро образовывать огромное число спор и распространять их на большие расстояния. Согласно современным представлениям [10] КС грибов является живой динамической системой. Ее структура зависит от качества окружающей среды, полисахаридного состава, стадии жизненного цикла и условий культивирования. Ее толщину определяют 9-10 фибриллярных слоев разной электронной плотности. У мицелиальных грибов внутренний слой КС состоит из хитина и гликана (у зигомицетов — из хитина и хитозана), а наружный матричный слой — из глюканов и гликопротеинов. У дрожжей она состоит из гликопротеинов и маннанов. КС выполняет множество функций: защищает грибные клетки от неблагоприятных факторов, контролирует морфогенез, участвует в процессах репродукции, определяет антигенные и адгезивные свойства, узнавание грибных клеток между собой. Кроме того, способствует узнаванию хозяина патогенными видами, образованию покоящихся клеток, воспринимает внешний сигнал и передает его на мембрану и внутриклеточные мессенджеры. Все составляющие КС разделяются на **структурные** компоненты (хитин, β (1,3) – β (1,6) глюканы, β (1,4)глюкан (целлюлоза), и **внутриструктурные** звенья (матрикс), к которым относят α (1-3)-глюкан, маннопротеины, галакто-маннопротеины и др. Моносахаридный состав КС состоит из глюкозы, маннозы, ксилозы, но преобладает глюкоза. Глюканы образуют прочный хитин-глюкановый комплекс, составляющий скелет клетки у всех грибов, за исключением зигомицетов. В структурные и внутриструктурные компоненты входят также белки, липиды, аминополисахариды, урсонные кислоты, гидрофобины, спорополленин и меланины, которые образуют химические связи с микрофибриллярной частью КС. Наличие таких комплексов обеспечивает избирательную проницаемость для одних веществ и блокаду других. Под воздействием стресс-факторов, собственных ферментов или ферментов других организмов синтез хитина и глюканов КС прекращается и гриб переходит в дормантное (покоящееся) состояние с формированием жизнеспособных конидий, даже сферических протопластов. Наиболее важными ферментами, катализирующими разложение отдельных компонентов клеточной оболочки грибов, являются α - и β -глюканазы, протеазы, пептидазы, глюкозаминидазы, целлюлазы, хитиназы, глюкуронидазы, гексозаминидазы и др..

На определенных участках КС располагаются поверхностные специфические ингредиенты — адгезины. У микроорганизмов они генетически запрограммированы и являются важной экологической чертой их существования, гарантируя им прикрепление к клеткам-мишеням человека, животных и растений или к абиогенным поверхностям. Причем с последующей колонизацией, чаще совместно с бактериями. Адгезины влияют также на выживания грибов, их деление, продукцию ферментов, являются первоначальным фактором патогенности. Среди дрожжеподобных грибов обнаружены виды с высокой и низкой адгезивностью. Например, *S. albicans* обладает гораздо большей адгезивностью, чем *S. tropicalis*, в то время как у *S. krusei* адгезия отсутствует. На наших электронных микрофотографиях (рис. 2) показана адгезия мицелия, отдельных клеток и конидий гриба *Penicillium canescens* к органоминеральным частицам и частицам коллоидного золота. Этот штамм культивировали в образцах из техногенных отходов золотодобычи или с пластинкой высокопробного золота. Как видно, внешняя форма гриба не изменилась. Но его клеточная стенка и внутренние структуры импрегнировались (прокрашивались) из-за аккумуляции мицелием ионов тяжелых металлов.

Позже выяснилось, что микроэлементный состав гриба увеличивался во много раз. Возможно, это стало толчком к усилению его аллергической "агрессивности", поскольку конъюгаты катионов Au, Cu, Cr, Ni, Pb, Pt, Pd и других тяжелых металлов с белками, полипептидами и полисахаридами могут сенсibilизировать организм человека и вызывать аллергические проявления [7].

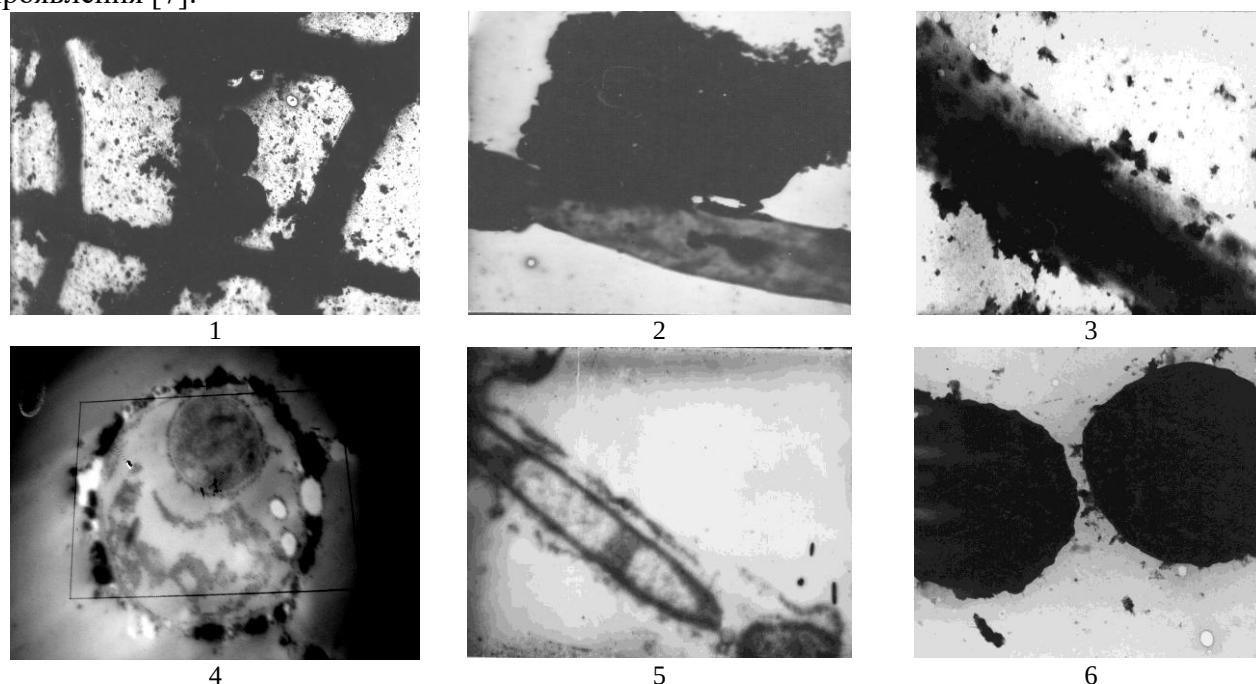


Рис. 2. Электронная микроскопия адгезии гриба *Penicillium canescens*:

1 – взаимодействие гриба и частицами при росте в присутствии образцов ШОУ Софийского прииска (x 12000); 2 – фиксация крупной частицы на отдельной грибной клетке (x 12000); 3 - полиморфные частицы золота на гифе (x 22000); 4 - поперечное сечение гифы со скоплением частиц на клеточной стенке.(КС). Видно ядро с ядерной оболочкой (x 22000); 5 - отслойка поверхностного слоя КС и межклеточные септы с митохондриями (x 9000); 6 - частицы золота на поверхности конидий (x 22000).

Таким образом, со значительной степенью вероятности предполагается, что грибы как эукариоты появились на Земле примерно миллиард лет тому. Их эволюция остановилась на формировании нитевидного мицелия, сложного жизненного цикла и тесных взаимосвязей с эволюцией и функционированием экосистем. Участвуя в глобальном биологическом круговороте элементов, грибы продолжают выполнять важнейшие биосферные функции — редукцию и минерализацию органического вещества, образование плодородного слоя почвы, детоксикацию поллютантов и др.

Литература

1. Брода Э. Эволюция биоэнергетических процессов. М.: Мир, 1978.
2. Герман Т.Н., Подковыров В.Н. О природе докембрийских микрофоссилий arcacellularia и glomovertella // Палеонтологический журнал. 2008. № 6. С. 81–88.
3. Дьяков Ю.Т. Грибные элиситоры // Материалы VII всероссийской школы "Биотические связи грибов: мосты между царствами". 2015. С. 18–38.
4. Камзолкина О.В., В. Матросова Е.. Митохондрии грибов // Микология сегодня. Т. I. М.: Национальная академия микологии, 2007. С. 55–745.
5. Камзолкина О.В., Штаер О.В., Кудрявцева О.А., Мажейка И.С. Эндоцитоз у грибов // Материалы VII всероссийской школы "Биотические связи грибов: мосты между царствами". ЗБСМГУ 2015. С. 50–66.
6. Каратыгин И.В. Козволюция грибов и растений. С.-П.: Гидрометеиздат, 1993.
7. Катола В.М. Содержание микроэлементов у грибов рода *Penicillium*, выделенных из различных источников // Бюл. физиол. и патол. дыхания. 2004. Вып. 19. С. 79 – 83.
8. Наговицин К. Е. Биоразнообразие грибов на границе мезо- и неопротерозоя (лахандинская биота, Восточная Сибирь) // Новости палеонтологии и стратиграфии. 2008. Т. 49. Вып. 10–11. С. 147–151.
9. Переведенцева Л. Г. Микология: Грибы и грибоподобные организмы. Учебное пособие. Пермь. 2009.
10. Феофилова Е.П. Клеточная стенка грибов: современные представления о составе и биологической функции // Микробиология. 2010. Т. 79. С.723–733.

АНАЛИЗ ТРАНСФОРМАЦИИ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ В ПОЧВАХ ЛИСТВЕННИЧНЫХ ЛЕСОВ МЕТОДОМ ПИРОЛИТИЧЕСКОЙ ГХ-МС

И.М. Котельникова^{1,2}, А.В. Кондратова¹, Т.А. Юркова¹, С.В. Брянин¹
irina.kotelnikova@gmail.com

¹ Институт геологии и природопользования ДВО РАН, Благовещенск

² АФ БСИ ДВО РАН, г. Благовещенск

Лиственничные леса на Дальнем Востоке Евразии занимают большую площадь на южных границах вечной мерзлоты. Скорость потери массы, стабилизация и трансформация органического вещества при разложении остаются во многом неизвестными в естественных и нарушенных лиственничных насаждениях Восточной Евразии. Трансформация органического вещества во время разложения может иметь большее значение для секвестрации углерода в лесной экосистеме.

Одним из подходов к оценке раннего разложения органических соединений является метод TBI – Tea Bag Index, который позволяет оценить стабилизацию и скорость разложения стандартизированного растительного материала: зеленого чая и чая ройбуш [1]. Зеленый чай (*Camellia sinensis* (L.) Kuntze) характеризуется высоким содержанием целлюлозы и быстрым разложением, чай ройбуш (*Aspalathus linearis* (Burm.f.) R.Dahlgren) содержит высокие концентрации лигнина и предполагает медленное разложение. Этот подход применяют для единообразной оценки разложения, особенно в глобальном масштабе.

Аналитический пиролиз – эффективный инструмент для характеристики и оценки органического вещества почв [2]. Органическое вещество в почве образуется главным образом из растительной биомассы, которая включает в себя лигнин, углеводы, белки, кутин, суберин, липиды и другие соединения. Кроме этого, вклад в органическое вещество почв вносят микроорганизмы и мезофауна. При пиролизе органического вещества почв образуется множество компонентов, которые являются маркерами определённых классов биомолекул, что позволяет оценивать источники органического вещества.

Цель исследования состояла в определении влияния различных экосистемных условий на разложение и трансформацию органического вещества в почвах лиственничных лесов в локальном масштабе.

Район исследований расположен в пределах Зейского государственного природного заповедника, расположенного на южном склоне хребта Тукурингра на Дальнем Востоке России. Территория покрыта естественными лиственничными лесами (*Larix. gmelinii* Rupr.) и расположена вблизи южной границы распространения вечной мерзлоты [3]. Почва характеризуется значительным (~10 см) слоем подстилки [4]. В пределах 5 км² выделили четыре участка (по 0,25 га каждый) с разным экологическим состоянием: сплошная рубка в 2005 г. (лесосека); лиственничник, поврежденный низовым пожаром в 2003 г. (гарь); лиственничный древостой на вечной мерзлоте (мерзлота) и малонарушенный лес без вечной мерзлоты (контроль). Эксперимент по разложению проводили для двух видов чая Липтон – зеленого и ройбуш, которые были расфасованы в стандартные нетканые чайные пакетики [1]. В июне 2019 г. на каждой из четырех площадок было случайным образом помещено по 10 пакетиков каждого вида чая на глубину 8 см. В соответствии с протоколом TBI для северных экосистем инкубационный период составлял 120 дней. По окончании инкубации пакетики собирали, очищали от прилипших частиц почвы и сушили при 70°C в течение 48 часов. После полевой инкубации оценили трансформацию молекулярной структуры растительной массы с помощью метода пиролитической газовой хроматографии-масс-спектрометрии с дериватизацией гидроксидом тетраметиламмония (ТМАН-Py-GC-MS).

Для хроматографического анализа тонкоизмельченный образец растительной массы (1–3 мг) смешивали с гидроксидом тетраметиламмония (ТМАН) в метаноле (25 мг/мл), и помещали в кварцевые пробирки. Анализ проводили с использованием системы ввода проб OPTIC-4 (Shimadzu). Образцы вводили в предварительно нагретую до 100⁰С инжекторную систему и подвергали пиролизу при 500⁰С в течение 40 с. Продукты термохемолiza анализировали на хроматографе Shimadzu GCMS-QP2010 Ultra. Для разделения соединений использовали капиллярную колонку Ultra-ALLOY 5-MS(HT) (длина 30 м, i.d. 0,25 мм, толщина фазы 0,25 мкм). Температуру колонки программировали от 50⁰С до 300⁰С со скоростью 50⁰С/мин и выдерживали при 300⁰С в течение 5 мин. Анализ хроматограмм проводили с использованием программного обеспечения GC-MS Solution Shimadzu. Соединения идентифицировали на основе времён их удерживания и путём сравнения масс-спектров с библиотекой NIST. Количественное содержание каждого соединения рассчитывали по отношению площади пика к сумме пиков всех идентифицированных соединений.

В исходном образце зеленого чая было идентифицировано 12 компонентов. В конце эксперимента количество соединений увеличилось по-разному в зависимости от участка: от 15 соединений на контроле и вечной мерзлоте до 25 на гари. В количественном отношении в исходном образце чая преобладают производные лигнина (25,7 %), жирные кислоты с длиной цепи C16-C18 (19,5%), а также углеводный компонент, идентифицированный как раффиноза (45 %). В идентифицированных лигнин-производных ароматических соединениях преобладали производные синригина. В образцах после инкубирования их доля снижалась. Присутствующий в исходном образце зеленом чае углевод раффиноза после инкубирования не обнаруживался, однако на контрольном участке и лесосеке появлялись новые углеводы – α-D-глюкоза и трегалоза. Также на всех площадках появляются N-содержащие соединения, максимальное их количество выявлено на гари (10,1%).

В исходном образце зеленого чая среди метиловых эфиров жирных кислот (МЭЖК) с длиной цепи 16-18 атомов С преобладала пальмитиновая кислота (C_{16:0}). После 120 дней инкубирования в образце на контрольном участке появляется полиненасыщенная линолевая кислота, увеличивается содержание мононенасыщенной олеиновой кислоты, при этом насыщенная стеариновая кислота C_{18:0} полностью исчезает. Подобное возрастание степени ненасыщенности у жирных кислот С 18 ряда обнаруживается также в образцах на мерзлоте и гари.

На всех экспериментальных площадках после инкубирования возросло содержание длинноцепочечных алифатических соединений: жирных кислот, насыщенных жирных спиртов, углеводов, при этом их состав и количество молекулярных видов различалось на разных участках. Длинноцепочечные (C>20) МЭЖК с четным числом атомов углерода (C_{24:0}, C_{26:0}, C_{28:0}) появляются во всех образцах после инкубирования, кроме мерзлоты. Метилированные производные высших жирных спиртов, таких как гексакозиловый C₂₆H₅₃ОН, октакозиловый C₂₈H₅₇ОН, триаконтиловый C₃₀H₆₁ОН и тетраэтриаконтиловый C₃₄H₆₉ОН были обнаружены во всех экспериментальных образцах, особенно в большем количестве (до 22%) в образце контрольного участка, при этом состав их молекулярных видов также различался между участками. Углеводы (C₂₁H₄₄, C₂₃H₄₈, C₂₆H₅₄, C₃₅H₇₂) обнаружили только в образце, инкубированном на участке гари. В образцах лесосеки и гари обнаружено дитерпеновое соединение спирт фитол, который является продуктом деградации хлорофилла [5].

Через 120 дней инкубирования в почвах лиственных лесов в растительной массе появляется ряд соединений нерастительного происхождения, которые изначально отсутствовали в зеленом чае. Например, в образцах со всех исследуемых участков мы находим N-содержащие соединения, что может свидетельствовать о микробной трансформации органического вещества. О вкладе микроорганизмов в процессы деградации органических соединений можно судить по соединениям, которые являются биомаркерами. Так, в образцах на лесосеке и гари обнаружили дисахарид трегалозу, его мономер α-D-глюкопиранозид и пентациклический тритерпеноид β-амирин. На лесосеке также идентифицировали пятиатомный спирт арабитол. Продуцентами спирта L- или D-арабитола является целый ряд дрожжевых

грибов родов *Candida*, *Pichia*, *Debaryomyces* и *Zygosaccharomyces* [6]. Трегалоза, или микоза, является структурным компонентом дрожжей и других грибов [7]. Трегалозу в экспериментальных образцах после разложения чая определяли и другие авторы [8]. Об участии в разложении органических соединений на контрольном участке почвенного гриба *Aspergillus niger* [9] свидетельствует обнаружение необычного минорного соединения 2-(12-тетрадеценилокси)тетрагидро-2Н-пирана. Поэтому можно считать, что микромицеты, в том числе дрожжевые грибы, вносят значительный вклад в деградацию органических соединений листьев чая на контрольном участке леса и лесосеке.

Изменение молекулярного состава зеленого чая после разложения в целом можно описать как уменьшение доли ароматических соединений, разложение углеводов и увеличение содержания алифатических соединений в результате процессов гидролиза и окисления.

В исходном образце чая ройбуш выявлено 22 соединения с выраженным (49%) преобладанием МЭЖК с длиной цепи от 7 до 18 атомов углерода, доминировали эфиры пальмитиновой кислоты $C_{16:0}$. После инкубирования образцов чая обнаружили только по одному новому компоненту на двух участках: лактон 18-гидроксиолеиновой кислоты на гари и 8,10-диоксигептадекан на вечной мерзлоте. Количество первоначально обнаруженных соединений уменьшалось на исследуемых участках по-разному: от 12 на контроле до 8 на лесосеке. Это снижение во многом объясняется уменьшением разнообразия МЭЖК: от 11 в исходном образце чая до 5-7 видов в образцах на экспериментальных участках. Их содержание в конце опыта составила 56% на контрольном участке, 43% на лесосеке и всего 18% на гари и вечной мерзлоте. Заметное количество (16%) в исходном чае составляли соединения - производные лигнина. Их количество и молекулярное разнообразие снижалось в образцах на всех экспериментальных площадках. Маркер целлюлозы 2,3,4-триметил левоглюкозан, составляющий 2% в исходном образце чая, к концу эксперимента полностью исчезал на всех участках. В целом в образцах чая ройбуш на экспериментальных площадках происходила деградация органических соединений, наиболее значительная – на лесосеке. Деградации подвергались в основном жирные кислоты с длиной цепи менее 20 атомов углерода, производные лигнина и целлюлоза. Увеличение доли насыщенных МЭЖК ($C_{16:0}$, $C_{18:0}$, $C_{22:0}$) может указывать на вклад микроорганизмов в трансформацию исходного образца чая ройбуш. В целом в образцах чая ройбуш на экспериментальных площадках происходила деградация органических соединений, наиболее значительная – на лесосеке.

Анализ молекулярного состава растительной массы ТМАН-Рy-GC-MS показал, что после 120 дней полевой инкубации трансформация органических компонентов у зеленого чая и ройбуша происходит по-разному. Зеленый чай полностью утратил часть изначально обнаруженных соединений, тогда как после разложения появились вновь образованные соединения. Ройбуш изначально имеет более разнообразный молекулярный состав (22 компонента), чем зеленый чай (12 компонентов). Однако после инкубации мы наблюдали более чем двукратное уменьшение исходного молекулярного разнообразия ройбуша с небольшим количеством новообразованных веществ. Основываясь на анализе ТМАН-Рy-GC-MS, разложение в чае ройбуш было в основном немикробным по сравнению с зеленым чаем, биомасса которого подвергается значительной микробной трансформации.

Таким образом, метод ТМАН-Рy-GC-MS позволяет получить информацию о протекающих процессах деструкции растительной биомассы и накопления микробной биомассы, что позволяет судить о трансформации органического вещества в почвах лиственничников. Влияние различных экологических условий проявляется в основном в специфической для каждого экспериментального участка микробной трансформации органического вещества, особенно для зеленого чая. Трансформация органического вещества была более выражена в контрольном лесу и на лесосеке, чем на гари и вечной мерзлоте.

Литература

1. Keuskamp J. A., Dingemans B. J. J. et al. Tea Bag Index: a novel approach to collect uniform decomposition data across ecosystems // *Methods in Ecology and Evolution*. 2013. V. 4. P. 1070–1075.
2. Derenne S., Quenea K. Analytical pyrolysis as a tool to probe soil organic matter // *J. Analyt. Appl. Pyrol.* 2015. V. 111. P. 108–120.
3. Krestov P. V., Ermakov N.B. et al. Classification and Phytogeography of Larch Forests of Northeast Asia // *Folia Geobot.* 2009. V. 44. P. 323–363.
4. Procopchuk V.F., Bryanin S.V. Ecological Stability of Brown Raw-humus Taiga Soils in Relation to Anthropogenic Influences in Northern Part of Amur Region // *Eurasian J. For. Res.* 2007. V. 10. P.85–88.
5. Hörtensteiner S., Kräutler B. Chlorophyll breakdown in higher plants // *Biochim. Biophys. Acta*. 2011. V. 1807. P. 977–988.
6. Kordowska-Wiater M. Production of arabitol by yeasts: current status and future Prospects // *J. Appl. Microbiol.* 2015. V.119. P. 303–314.
7. Reilly M.C., Doering T.L. Biosynthesis of fungal and yeast glycans. In *Microbial Glycobiology: Structures, Relevance and Applications*– 2009.-Amsterdam: Elsevier.- P. 393–412.
8. Bell N.G.A., Smith A.J., Zhu Y. et al. Molecular level study of hot water extracted green tea buried in soils - a proxy for labile soil organic matter // *Sci. Rep.* 2020. V. 10. P. 1–13.
9. Hameed I.H., Hamza L.F., Kamal S.A. Analysis of bioactive chemical compounds of *Aspergillus niger* by using gas chromatography-mass spectrometry and fourier-transform infrared spectroscopy // *J. Pharmacogn. Phyther.* 2015. V.7. P. 132–163

РАЗНОНАПРАВЛЕННОЕ ВЛИЯНИЕ РАЗГРУЗКИ СУБМАРИННЫХ ГРУНТОВЫХ ВОД НА ПРИБРЕЖНЫЕ АРКТИЧЕСКИЕ ЭКОСИСТЕМЫ

А.Э. Леусов, А.Н. Чаркин, О.В. Дударев, *leusov.ae@poi.dvo.ru*

Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, Владивосток

На сегодняшний день разгрузка субмаринных грунтовых вод была признана повсеместным явлением, которое способно существенно влиять на гидрологические, гидрохимические и гидробиологические режимы прибрежных морских районов [6-8]. В то же время, вопрос о наличии разгрузки субмаринных грунтовых вод в восточно-арктических морях России долгое время был дискуссионным, по причине повсеместного распространения субмаринных многолетнемерзлых пород, являющихся криогенными водоупорами. Однако в 2015 году в губе Буор-Хая было открыто место разгрузки субмаринных грунтовых вод, с оцененной скоростью поступления в $1.7 \times 10^6 \text{ м}^3$ в сутки, что превышает зимний сток арктической реки Яны [4]. С помощью модели трёх источников смешения «Monte Carlo» определено, что содержание грунтовых вод в районе их разгрузки достигает 7% [5]. В последующие экспедиции было установлено, что данное место разгрузки грунтовых вод не является единичным для восточного склона авандельты реки Лена. Севернее уже известного района напротив Быковской протоки, нами был обнаружен новый район разгрузки субмаринных грунтовых вод напротив Сардахской протоки (Рис.1). Субмаринная разгрузка грунтовых вод была определена с помощью естественных радионуклидов ^{224}Ra (Рис.1), ^{223}Ra , ^{228}Ra и ^{226}Ra , а также благодаря данным по стабильным изотопам $\delta^{18}\text{O}$, δD (Рис.2).

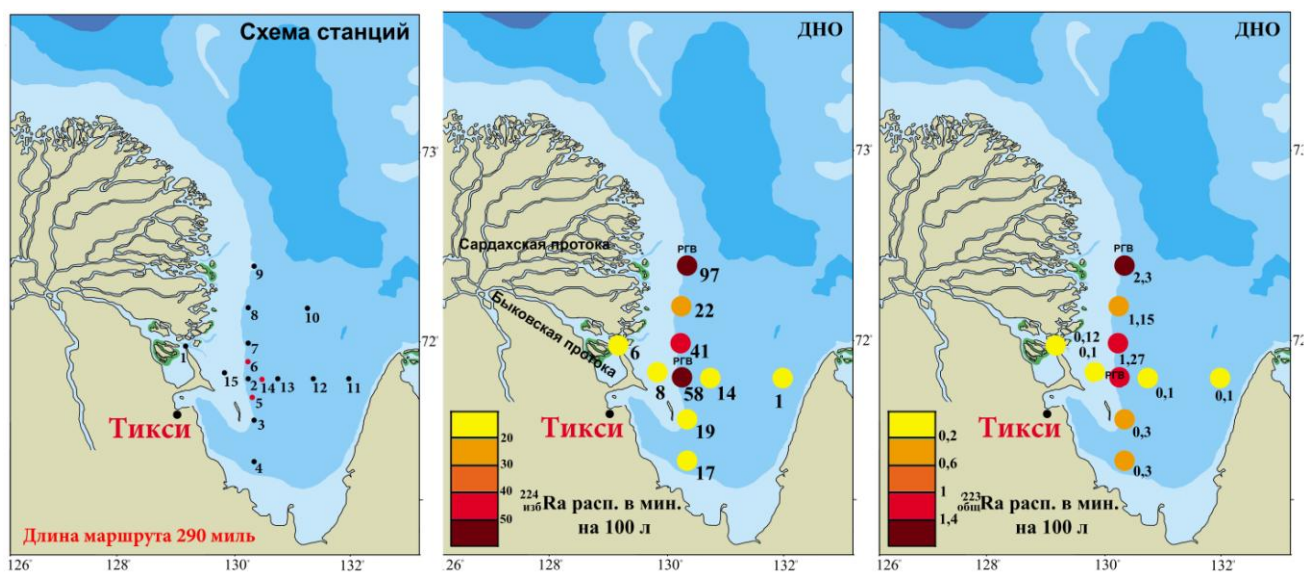


Рис.1. Схема станций и активность растворённых радионуклидов ^{224}Ra , ^{223}Ra (распадов в минуту) в придонном горизонте.

Обнаружено, что поступающие в губу Буор-Хая грунтовые воды являются источником биогенных элементов, в особенности аммония образующегося в анаэробных, в том числе подземных, условиях. Поставка биогенов грунтовыми водами в прибрежные воды является общеизвестным фактом, который не раз исследовался разными специалистами с позиции развития эвтрофикационных процессов [9,10], однако в нашем случае были обнаружены два

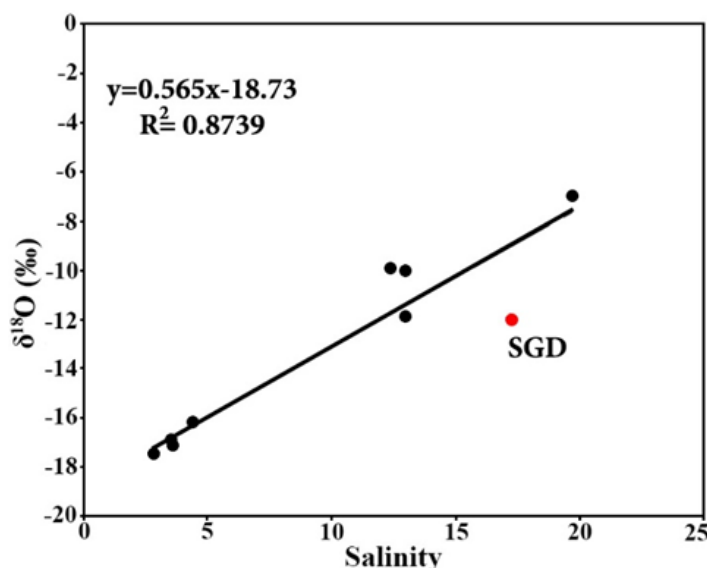


Рис.2. Зависимость $\delta^{18}\text{O}$ от солёности на разрезе вдоль дельты реки Лена в 2016 году.

абсолютно разнонаправленных вектора развития этих процессов на фоне влияния сторонних факторов. В частности, в одном случае (ст.2) были обнаружены более низкие значения аммония по сравнению с другим районом разгрузки грунтовых вод, но более высокие концентрации нитрита, который образуется в результате нитрификации (Рис.3) [2]. Образующийся в большом количестве нитрит далее окисляется нитратными бактериями в нитраты и способствует интенсивному цветению водорослей, то есть развитию эвтрофикационных процессов, в результате чего образуется дефицит кислорода. Дефицит кислорода хоть и способствует увеличению в эстуарной биоте не требовательных к кислороду инвазивных (морских) видов, но в общем не угнетает локальную экосистему (Рис. 4).

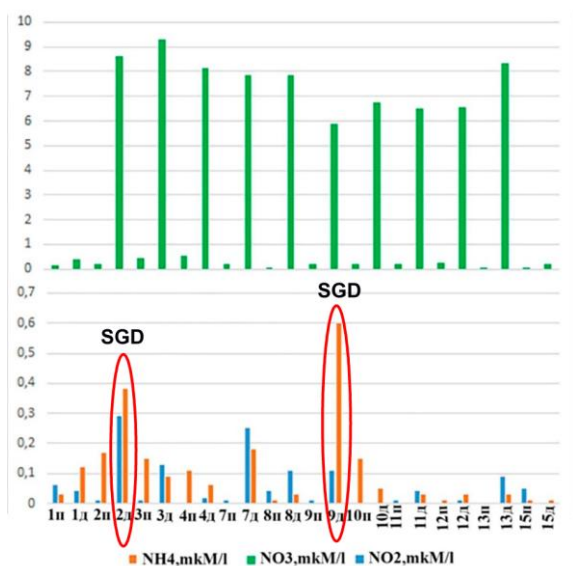


Рис.3. Концентрация биогенов в губе Буор-Хая.

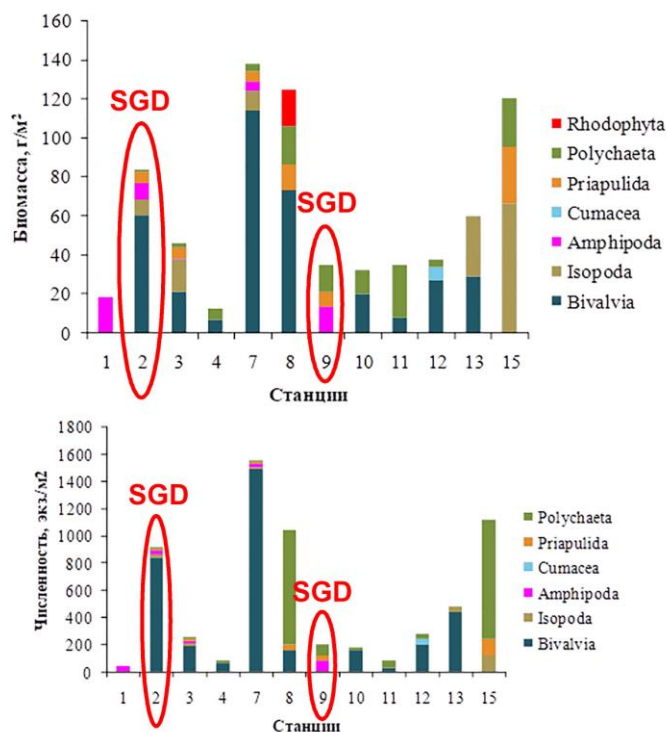


Рис.4. Биомасса и численность зообентоса в губе Буор-Хая.

Более того, на соседней станции № 7, так же находящейся под частичным влиянием разгрузки субмаринных грунтовых вод была обнаружена максимальная численность и биомасса зообентоса (Рис.1, 4). Во втором же случае (ст. 9) мы обнаружили что аммоний, по каким-то причинам не перерабатывается в нитриты и нитраты, при этом локальные биоценозы были сильно угнетены (Рис.4). Вероятным объяснением данного феномена являются литодинамические особенности второго района, так как именно в данном месте формируется современная дельта реки Лены, что обусловлено присутствием квазистационарного взвесенасыщенного потока, подобно одеялу накрывающего подводный склон дельты на данном участке [3]. Данное обстоятельство препятствует проникновению света на дно и ограничивает фотосинтез, который в свою очередь является источником кислорода необходимого для нитрификации и в конце концов способствует накоплению аммония в придонном горизонте. Известно, что аммоний — наиболее токсичная форма из всех соединений неорганического азота [1], что наряду с отсутствием освещения также могло негативно сказаться на местных биоценозах.

Таким образом, наличие разгрузки субмаринных грунтовых вод, не всегда способствует процветанию прибрежных экосистем. Под влиянием разных гидрологического и литологического режимов, могут формироваться условия, способствующие угнетению биоценозов, в том числе, арктических.

Работы выполнены при финансовой поддержке гранта РНФ 19-17-00058.

Литература

1. Armstrong, D. A, M. J. Stephenson, and A. W. Knight. Interaction of ionized and un-ionized ammonia on short-term survival and growth of prawn larvae, *Macrobrachium rosenbergii* // *Biol. Bull.* 1978. – 154. – P. 15–31.
2. Codispoti L.A., Christensen J.P. Nitrification, denitrification and nitrous oxide cycleing in the eastern tropical south Pacific ocean // *Marine Chemistry*. – 1985. – V. 16. – P. 277-300.
3. Charkin, A. N., Dudarev, O. V., Semiletov, I. P., Kruhmalev, A. V., Vonk, J. E., Sánchez-García, L., Karlsson, E., and Gustafsson, Ö.: Seasonal and interannual variability of sedimentation and organic matter distribution in the Buor-Khaya Gulf: the primary recipient of input of Lena River and coastal erosion in the Southeast Laptev Sea // *Biogeosciences*. – 2011. – 8. – P. 2581–2594.
4. Charkin, A.N. et. al. Discovery and characterization of submarine groundwater discharge in the Siberian Arctic seas: A case study in the Buor-Khaya Gulf, Laptev Sea. // *The Cryosphere*. – 2017. – 11. – P. 2305-2327.
5. Charkin, A.N., Pipko, I.I., Pavlova, G.Yu., Dudarev, O.V., Leusov, A.E. et. al. Hydrochemistry and isotopic signatures of subpermafrost groundwater discharge along the eastern slope of the Lena River Delta in the Laptev Sea // *Journal of Hydrology*. – 2020. – 590.
6. Charette, M.A. et. al. Salt marsh submarine groundwater discharge as traced by radium isotopes // *Mar. Chem.* – 2003. – 84. – P. 113–121.
7. Moore, W.S. Sources and fluxes of submarine groundwater discharge delineated by radium isotopes // *Biogeochemistry*. – 2003. – 66. – P. 75–93.
8. Swarzenski, P.W., Reich, C.D., Spechler, R.M., Kindinger, J.L., Moore, W.S. Using multiple geochemical tracers to characterize the hydrogeology of the submarine spring off Crescent Beach, Florida // *Chem. Geol.* – 2001. – 179. – P. 187–202.
9. Rathore S.S., Chandravanshi P, Chandravashi A, Jaiswal K. Eutrophication: Impacts of Excess Nutrients Inputs on Aquatic Ecosystem // *Journal of Agriculture and Veterinary Science*. – 2016. – 10. – P. 89-96.
10. Taniguchi M, Dulai H, Burnett KM et. al. (2019) Submarine Groundwater Discharge: Updates on Its Measurement Techniques, Geophysical Drivers, Magnitudes, and Effects // *Front. Environ. Sci.* – 2019. – 7. –141.

СОСТАВ СПОРОВО-ПЫЛЬЦЕВЫХ СПЕКТРОВ СЕРГЕЕВСКОГО БУРОУГОЛЬНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Леусова Н.Ю., leusova@ascnet.ru, Гатаулина Г.Н.

Институт геологии и природопользования ДВО РАН, Благовещенск

Сергеевское буроеугольное месторождение расположено в юго-западной части Зейско-Буреинского осадочного бассейна, в 60 км от Благовещенска. Месторождение определяется четырьмя горизонтально залегающими пластами угля, три из них принадлежат поярковской свите позднего мела, а основной пласт - бузулинская свита ранне-средне-миоцевого возраста. Палиноморфы дают сведения о составе палеофлористических растительных сообществ и их таксономическом разнообразии. Целью работы явилось исследование палинокомплекса Сергеевского буроеугольного месторождения.

Пласты угля опробовались секциями длиной 0.5 м массой 12–15 кг. При лабораторной обработке углей использовали общепринятые методики. Исследование проб проводилось путем химической обработки сепарационным методом В.П. Гричука (Гричук, 1940). Органический материал поднимался центрифугированием с калий-кадмиевой тяжелой жидкостью удельным весом 2,2–2,4 г/см³, затем проводился ацетализ по методу Эрдтмана (Эрдтман, 1955). Исследование пыльцевых зерен проведено методами оптической микроскопии (Axio Scope A1) Zeiss) при увеличении от 100 до 400.

Таблица. Состав спорово-пыльцевых спектров

Номер пробы	Описание	Мощность, м	Основные палиноморфы
1	2	3	4
228-18/15	Песок свето-серый, среднезернистый с линзами крупнозернистого	1	Покрытосеменные, Березовые (Betulaceae), макроостатки > Голосеменные, Сосновые (Pinaceae): сосна (<i>Pinus sp.</i>) > споры водорослей, сфагнум (<i>Spagnum sp.</i>)
228-18/14	Уголь бурый, черного цвета, матовый	0,5	Голосеменные, Сосновые (Pinaceae): сосна (<i>Pinus sp.</i>) > Покрытосеменные Березовые (Betulaceae) > сфагнум (<i>Spagnum sp.</i>) макроостатки, споры водорослей
228-18/13	Уголь бурый, черного цвета, матовый	0,5	Голосеменные, Сосновые (Pinaceae): сосна (<i>Pinus sp.</i>) > споры водорослей, сфагнум (<i>Spagnum sp.</i>) > Покрытосеменные Березовые (Betulaceae), макроостатки
228/18-12	Уголь бурый, черного цвета, матовый	0,5	Покрытосеменные, Березовые (Betulaceae), макроостатки > Голосеменные Сосновые (Pinaceae): сосна (<i>Pinus sp.</i>) > споры водорослей, сфагнум (<i>Spagnum sp.</i>)
228/18-11	Уголь бурый, черного цвета, матовый	0,5	Голосеменные, Сосновые (Pinaceae) сосна (<i>Pinus sp.</i>) > споры водорослей, сфагнум (<i>Spagnum sp.</i>) > Покрытосеменные Березовые (Betulaceae), макроостатки
228/18-10	Уголь бурый, черного цвета, матовый	0,5	Голосеменные, Сосновые (Pinaceae) сосна (<i>Pinus sp.</i>) > споры водорослей > Покрытосеменные Березовые (Betulaceae), макроостатки
228/18-9	Уголь бурый, черного цвета, матовый	0,5	Голосеменные Сосновые (Pinaceae) > споры папоротников > Покрытосеменные (макроостатки)
228/18-8	Уголь бурый, черного цвета, матовый	0,5	Голосеменные, Сосновые (Pinaceae): сосна (<i>Pinus sp.</i>), ель (<i>Picea sp.</i>) > споры водорослей > Покрытосеменные (макроостатки)

Продолжение таблицы

1	2	3	4
228/18-7	Уголь бурый, черного цвета, матовый	0,5	Голосеменные Сосновые (<i>Pinaceae</i>): сосна (<i>Pinus sp.</i>), ель (<i>Piceae sp.</i>); ; Подокарповые (<i>Podocarpaceae</i>) ногоплодник (<i>Podocarpus sp.</i>) > водоросли >Покрытосеменные - макроостатки, Липовые (<i>Tiliaceae</i>) – липа (<i>Tilia sp.</i>), Кленовые (<i>Aceraceae</i>) - клен (<i>Acer sp.</i>)
228/18-6	Уголь бурый, черного цвета, матовый	0,5	Голосеменные Сосновые (<i>Pinaceae</i>): сосна (<i>Pinus sp.</i>), ель (<i>Piceae sp.</i>), лиственница (<i>Larix sp.</i>) > споры папоротников >Покрытосеменные (макроостатки)
228/18-5	Глина светло-коричневая	0,5	Голосеменные Сосновые (<i>Pinaceae</i>): сосна (<i>Pinus sp.</i>)> Покрытосеменные, Березовые : береза (<i>Betula sp.</i>), +макроостатки>споры водорослей
228/18-4	Глина светло-коричневая	0,2	Бедная по содержанию зерен пыльцы проба Покрытосеменные редко
228/18-3	Глина светло-коричневая	0,5	Покрытосеменные >Макроостатки тканей
228/18-2	Уголь бурый, черного цвета, матовый	0,4	Голосеменные Сосновые (<i>Pinaceae</i>): сосна (<i>Pinus sp.</i>), ель (<i>Piceae sp.</i>) > Покрытосеменные, Березовые: береза (<i>Betula sp.</i>), Ильмовые: ильм (<i>Ulmus sp.</i>); +макроостатки>споры водорослей
228/18-1	Глина светло-коричневая, аргилитоподобная	0,5	Голосеменные Сосновые (<i>Pinaceae</i>): сосна (<i>Pinus sp.</i>), ель (<i>Piceae sp.</i>) > Покрытосеменные Березовые: береза (<i>Betula sp.</i>), ильмовые: ильм (<i>Ulmus sp.</i>)

Отмечено, что из голосеменных растений выражено доминирует сосна *Pinus sp.* По мнению Клименко и др. (2000) высокая доля которой в растительных сообществах может свидетельствовать об ухудшении климатических обстановок и о понижении температуры. В то же самое время редкое присутствие пыльцы *Larix* в спектрах и наоборот, наличие пыльцы ногоплодника (*Podocarpus sp.*) дает основание предположить, что данные спектры отражают период потепления климата. Содержание пыльцы *Ulmus sp.*, спор водорослей, и спор папоротников может свидетельствовать о повышении влажности и мягкости температурного климата. В средней части разреза наблюдается увеличение доли водорослевой составляющей. В верхней части разреза наблюдается увеличение разнообразия голосеменных растений, - помимо пыльцы сосны (*Pinus sp.*) наблюдается лиственница (*Larix sp.*), ель (*Piceae sp.*), ногоплодник (*Podocarpus sp.*).

Сделан вывод, что в составе растительности преобладают высшие растения. Из жизненных форм доминируют древесные, содержание которых в спектрах всех проб значительное: так голосеменные растения составляют порядка 70%. В процесс угленакопления вовлекаются и покрытосеменные растения с преобладанием мелколиственных березовых (*Betula*), встречаются кленовые (*Acer*), ильмовые (*Ulmus*). Присутствуют также остатки древесных растений, степень разложения которых небольшая (паренхит, кселинит).

Литература:

1. Гричук В.П. Методика обработки осадочных пород, бедных органическими остатками, для целей пыльцевого анализа // Пробл. физ. геогр. Т. VIII. 1940. 68 с.
2. Эрдтман Г. Морфология пыльцы и систематика растений. М.: Ин. лит., 1955. 486 с.
3. Клименко В.В., Климанов В.А., Кожарников А.В. Динамика растительности и климата Амуро-Зейского междуречья в голоцене и прогноз их естественных изменений // Изв. РАН. сер. Геогр. 2000. № 2 С 42-50.

ФОРМЫ СОЕДИНЕНИЙ МЫШЬЯКА В ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДАХ ТОКУРСКОГО ЗОЛОТОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Л.М. Павлова, *pav@ascnet.ru*

Институт геологии и природопользования ДВО РАН, Благовещенск

Химические элементы присутствуют в окружающей среде в разных состояниях. Сведения о формах соединений элементов позволяют оценить степень их мобильности и потенциальной биодоступности. Особенную актуальность приобретают эти вопросы в регионах, имеющих территории с длительного хранящимися складированными отходами от различных промышленных производств. На таких территориях практически полностью уничтожаются природные ландшафты и вместо них появляются локальные техноэкосистемы. Такие экосистемы характеризуются почвенно-геохимическими аномалиями, загрязнением поверхностных и подземных водотоков токсичными элементами вследствие биогеохимической трансформации складированного материала. Геохимическое рассеяние химических элементов неизбежно сопровождается их биохимическим захватом – растениями, простейшими, микроорганизмами из почвы, водотоков, воздушной среды – и дальнейшим поступлением по трофическим цепям в организмы животных и человека. С дренажными водами образующиеся подвижные формы тяжелых и токсичных элементов разносятся на далекие расстояния от первоисточника. Процесс этот по времени может быть очень длительным. В отдаленном последствии эти факторы зачастую провоцируют сложную санитарно-экологическую ситуацию на прилегающих к местам хранения и более отдаленным территориям. Острота проблемы усугубляется недостатком знаний о процессах, происходящих в рудных и породных отвалах в различных геохимических и климатических условиях, что приводит к невозможности прогнозировать долгосрочные последствия от наносимого окружающей среде и биоте ущерба, невозможности создания эффективных защитных геохимических барьеров и ремедиации загрязненных территорий.

Длительно хранящиеся отходы золоторудного производства, в минеральном составе которых содержатся сульфидные минералы (пирит, арсенопирит), могут быть мощным техногенным источником поступления As в компоненты окружающей среды. За время многолетней эксплуатации Токурского золоторудного месторождения (с 1941 по 1996 гг.), относящегося к золото-кварцевой малосульфидной формации, в сформированное рядом хранилище было сброшено более 2,5 млн.т As-содержащих хвостовых отходов [1]. Присутствие As в длительно хранящихся отходах – это серьезная проблема для окружающей среды. Так, если в минеральном веществе Токурского хвостохранилища содержание As в 821-1086 раз превышает ПДК для почв, то в окружающих хвостохранилище почвогрунтах превышение ПДК по As составляет 280–320 раз, а в поверхностных водотоках вблизи хвостохранилища концентрации As почти в 4 раза превышают нормативы для вод водных объектов рыбохозяйственного значения и почти в 20 раз ПДК для вод коммунально-бытового водопользования [2, 3].

Мышьяк – элемент 1 класса опасности, который не является необходимым для живых организмов и выше некоторых определенных уровней является для них токсичным. Степень токсичности As напрямую зависит от его окисленности – As(III) более подвижен и токсичен, чем As(V). Вид доминирующей формы As в водных растворах зависит от pH и Eh среды [4, 5]. В разных по вещественному составу минеральных отходах содержание каждой из форм мышьяка варьирует. Мобилизация As из отвалов, поведение, распространение As в компонентах окружающей среды осуществляются через процессы высвобождения-растворения из сульфидных минералов, окислительно-восстановительных реакций, адсорбции-десорбции другими минералами [6]. Арсенит обычно находится в восстановленных условиях и почти в

нейтральных pH, в то время как арсенат преобладает в хорошо окисленных условиях [7, 8]. Из-за медленного протекания окислительно-восстановительных превращений и арсенит, и арсенат обнаруживаются в любой среде, что обуславливает в целом степень мобильности и биодоступности мышьяка.

Цель исследования – определить формы соединений As в техногенных отходах золоторудного производства (хвостохранилище месторождения Токур) в модельных лабораторных экспериментах.

Для выявления потенциальной способности форм соединений As к миграции в лабораторных условиях были проведены эксперименты по его выщелачиванию из техногенного грунта хвостохранилища разными экстрагентами, имитирующими природные среды, – снеготалой водой (pH 7.09, Т:Ж=1:10), имитирующей воздействие поверхностных водотоков; 1 М ацетатом аммония (NH₄Ac; pH 4.80; Т:Ж=1:5), под воздействием которого выделяется обменная фракция, характеризующая резервный запас подвижных форм элементов и их биологическую доступность; биомассой 2-х видов микроскопических грибов. Микробиота грунтов может интенсифицировать действие выщелачивающих растворов за счет выделения метаболитов. Используемые виды микроскопических грибов *Penicillium canescens* и *Aspergillus fumigatus* были ранее выделены из техногенных отходов, жидкой средой при этом служила снеготалая вода (pH 7.09). Для экспериментов был взят материал из двух точек, расположенных на старой – ТТ4 (вариант 1) – с глубины 70-80 см и новой – ТТ7 (вариант 2) – с глубины 0-10 см – площадках хвостохранилища с валовыми содержаниями As, составляющими 3.8 и 1.2 мг/г соответственно. Формы соединений мышьяка – As(III) и As(V) в полученных экстрактах определяли методом инверсионной вольтамперометрии (анализатор ТА, НИЛ микропримесей, г. Томск).

Материал хвостохранилища представляет собой однородную, слабо уплотненную, тонкодисперсную массу пылеватого песка (с содержанием частиц мелких и тонких фракций до 79.9%) серовато-коричневого цвета, в минеральном составе которого преобладают осколки из сростков кварца (до 32%), полевого шпата (до 21%), амфибола, слюды, кальцита (до 11%), встречаются слюдисто-глинистые минералы, гидроксиды железа, сульфиды (пирит, арсенопирит, сфалерит), в незначительном количестве – рудные минералы [2]. Последовательное экстрагирование материала хвостохранилища показало, что в среднем в водную вытяжку переходит незначительное количество As – от 0.24 до 0.45% (0.758 и 0.913 мг/дм³ соответственно для ТТ4 и ТТ7) от его валового содержания [9], среди которых 0.06% представлено арсенитами и 0.09-0.11% – арсенатами (табл.). Обменная фракция, валовое содержание которой составляет 1.05 и 1.44% для ТТ4 и ТТ7 соответственно [9], представлена на 0.84-1.77% арсенитами и на 0.15-0.85% арсенатами.

Таблица – Характеристика выщелачивающих растворов после воздействия разных экстрагентов на материал хвостохранилища Токурского золоторудного месторождения

Экстрагенты	As _{вал}		As(III)		As(V)		pH раствора	
	мг/дм ³	%	мг/дм ³	%	мг/дм ³	%	исходный	конечный
Вода 1	0.758 *	0.24*	0.23 ± 0.03	0.06	0.36 ± 0.05	0.09	7.09	7.98
Вода 2	0.913*	0.45*	0.07 ± 0.01	0.06	0.13 ± 0.02	0.11	7.09	7.81
NH ₄ Ac 1	3.997*	1.05 *	6.41 ± 0.96	0.84	1.16 ± 0.17	0.15	4.80	5.28
NH ₄ Ac 2	3.358*	1.44*	4.12 ± 0.62	1.77	1.97 ± 0.29	0.85	4.80	5.30
<i>P.canescens</i> 1	но	но	0.16 ± 0.02	0.04	0.98 ± 0.15	0.26	7.09	8.09
<i>P.canescens</i> 2	но	но	0.28 ± 0.04	0.24	0.91 ± 0.14	0.78	7.09	8.28
<i>A.fumigatus</i> 1	но	но	1.09 ± 0.16	0.28	2.03 ± 0.30	0.53	7.09	8.15
<i>A.fumigatus</i> 2	но	но	1.53 ± 0.23	1.31	1.30 ± 0.20	1.11	7.09	7.90

Примечание: но – не определяли; * – по данным [9].

Воздействие почвенных микроорганизмов, ферментов и метаболитов их жизнедеятельности на все реакции окисления-восстановления и осаждения-растворения очень существенно и может управлять поведением микроэлементов [10]. После действия грибной биомассы на минеральное вещество в водных растворах обнаруживали до 1.31% арсенитов и до

1.11% – арсенатов, при значительном вкладе прямого (без водорастворимой фракции) влияния грибной биомассы. Существенное различие в выщелачивающей способности между используемыми видами микромицетов объясняется их экологическими характеристиками. *A.fumigatus* характеризуется как потенциально патогенный вид, с более агрессивным отношением к субстрату. Таким образом, в водные вытяжки как с грибной биомассой, так и без, мышьяка в форме арсенатов выщелачивается больше, чем в форме арсенитов. Тогда как, при воздействии аммоний-ацетата на минеральное вещество мышьяка в форме арсенита выщелачивается в 2-6 раз больше, чем в форме арсенита (табл.).

Различия количественных характеристик форм As между пробами ТТ4 и ТТ7, по-видимому, объясняются не только различиями в вещественном составе складированной в разное время переработанной породы, но и разной степенью трансформации за время хранения. В условиях свободного доступа O_2 происходит изменение минерального состава и усиливаются геохимические процессы, обуславливающие перераспределение и миграцию химических элементов с водными потоками. Трансформация минерального вещества, в составе которого содержатся сульфидные минералы, сопровождается формированием кислых дренажных растворов с высоким содержанием тяжелых металлов (Fe, Cu, Zn, Pb, Hg и др.). Длительное многофакторное воздействие природных условий на минеральные отходы хвостохранилищ приводит к изменению соотношения водорастворимых, подвижных и потенциально-подвижных форм соединений химических элементов.

Содержание каждой из форм мышьяка в разных во вещественном составе минеральных отходах также сильно варьирует и зависит от pH и Eh условий [4, 5]. Попеременное обводнение и высушивание материала хвостохранилища влияет на редокс-режим и pH грунтовых растворов за счет окисления сульфидов, которое происходит в условиях свободного доступа O_2 . С глубиной концентрация кислорода падает и уже в приповерхностных слоях (первые десятки сантиметров) механизмы окисления отдельных минералов определяются составом поровых растворов [11]. В водной среде при нейтральном pH арсенат представлен в основном в виде $H_2AsO_4^-$, а в восстановительной среде образуется арсенит H_3AsO_3 [12]. У обеих форм As сильное сродство к оксидам Fe. В зонах с невысоким содержанием сульфидов образуются гидроксиды и сульфаты Fe(III), которые совместно с кислородом выступают в качестве окислителя. В пресной воде трансформации As определяются реакциями его соосаждения с гидроксидами Fe в растворах и растворением этой фазы в восстановительных условиях в осадках. Во время обводнения слабощелочная среда способствует растворению As-содержащих минералов с большим закреплением арсенитов, чем арсенатов на поверхности гидроокислов Fe. Восстановительные условия способствуют подвижности мышьяка за счет прямой редукции As(V) в As(III) или за счет восстановления носителя, например Fe(III), с последующей реакцией высвободившегося As(V) [5, 13].

Район расположения хвостохранилища располагается в зоне многолетней мерзлоты и характеризуется наличием надмерзлотных и подмерзлотных вод. Летом мерзлота оттаивает на сухих участках южных склонов на глубину до 3 м, на слабо прогреваемых и на заболоченных, на марях и болотах – на 0.6–1.2 м. После выпадения муссонных дождей, а также в конце летнего сезона грунты с глубины 0.2–0.6 м находятся в водонасыщенном состоянии; на участках, где сток не обеспечен, горизонт грунтовых вод может достигать дневной поверхности [1]. Значения pH всех экспериментальных растворов после взаимодействия с веществом хвостохранилища свидетельствуют о их подщелачивании, что также наблюдалось и при измерении поверхностных водотоков вблизи хвостохранилища [3]. После складирования отходы начинают взаимодействовать с атмосферными осадками и кислородом воздуха, что обуславливает развитие окислительных процессов и подкисление дренирующих потоков (до pH 6.2). За счет превращения металлоида в более токсичную и подвижную форму ухудшается качество подземных растворов.

Таким образом, в хвостовых отвалах окислительное выветривание As-содержащих минералов обуславливает формирование форм неорганических соединений As(III) и As(V), распределение которых зависит от состава руд, условий хранения отходов, окислительно-

восстановительных характеристик. Во время обводнения восстановительные условия способствуют подвижности As за счет прямой редукции As(V) в As(III) или за счет восстановления носителя Fe(III) с последующей редукцией высвободившегося As(V). Превращение металлоида в более токсичную и подвижную форму ухудшает экологическую обстановку зоны влияния хвостохранилища. Так как, несмотря на незначительное количество высвобождающегося мышьяка в форме арсенитов, поступление его в природные среды, сорбция и накопление осуществляется на протяжении многих десятилетий.

Литература

1. Малмыгин, С.Г., Громаковский, И.Ю., Ижэндеева, Ю.В., Материалы подсчета запасов золота в хвостохранилище Токурской ЗИФ по состоянию на 01.12.2004. Протокол АмурТКЗ № 582/1 от 16.12.2004, Благовещенск: ЗАО “Континент Ойл”, 2004. Рег. № 27614
2. Радомская В.И., Павлова Л.М., Кезина Т.В., Шумилова Л.П. Выщелачивание элементов из отходов Токурской золотоизвлекательной фабрики: лабораторные и натурные исследования // Экологическая химия. 2020. № 29(4). С. 221–232.
3. Павлова Л.М., Шумилова Л.П., Радомская В.И., Кезина Т.В. Оценка содержаний мышьяка в элементах техногенной экосистемы золоторудного месторождения // Экологическая химия. 2022. № 31(1). С. 10–24.
4. Водяницкий Ю.Н. Хром и мышьяк в загрязненных почвах // Почвоведение. 2009. № 5. С. 37–46.
5. Водяницкий Ю.Н. Состояние и поведение природных и техногенных форм As, Sb, Se, Te в рудных отвалах и загрязненных почвах (обзор литературы) // Почвоведение. 2010. № 1. С. 37–46.
6. Путилина В.С., Галицкая И.В., Юганова Т.И. Поведение мышьяка в почвах, горных породах и подземных водах. Трансформация, адсорбция / десорбция, миграция. – Новосибирск: ГПНТБ СО РАН, 2011. – 249 с.
7. Manning B.A., Goldberg S. Modeling competitive adsorption of arsenate with phosphate and molybdate on oxide minerals // Soil Sci. Soc. Am. J. 1996. V. 60. P. 121–131.
8. Manning B.A., Fendorf S.E., Goldberg S. Surface structures and stability of arsenic(III) on goethite: spectroscopic evidence for inner-sphere complexes // Environ. Sci. Technol. 1998. V. 32. P. 2383–2388.
9. Радомская В.И., Павлова Л.М. Оценка степени подвижности элементов в техногенных грунтах хвостохранилища Токурской золотоизвлекательной фабрики по результатам модельных экспериментов // Разведка и охрана недр. 2019. № 6. С. 55–63.
10. Кабата-Пендиас А. Проблемы современной биогеохимии элементов // Российский химический журнал. 2005. Т. XLIX, № 3. С. 15–19.
11. Рихванов Л.П. и др. Биогеохимический мониторинг в районах хвостохранилищ горнодобывающих предприятий с учетом микробиологических факторов трансформации минеральных компонентов. – Новосибирск: СО РАН, 2017. – 437 с.
12. Cullen W.R., Reomer K.J. Arsenic speciation in the environment // Chem. Rev. 1989. V. 89. P. 713–764.
13. Водяницкий Ю.Н. Определение окисленности тяжелых металлов и металлоидов (аналитический обзор) // Почвоведение. 2013. № 12. С. 1437–1448.

СОРБЦИЯ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ОРГАНИЧЕСКИМ ВЕЩЕСТВОМ

Л.М. Павлова, pav@ascnet.ru, Шумилова Л.П.

Институт геологии и природопользования ДВО РАН, Благовещенск

Природа накопления редкоземельных элементов (РЗЭ) в углях, по мнению [1], разнообразна и обусловлена особенностями состава питания древнего бассейна торфонакопления, проявлением субсинхронного торфонакопления вулканизма, а также особенностями гидрохимии региона. Из водных растворов концентрирование РЗЭ происходит преимущественно за счет сорбции органическим веществом углей на стадии торфонакопления или на буроугольной стадии углефикации [2]. Природа органического вещества (ОВ) обуславливает разнообразие механизмов сорбции и минерализации РЗЭ на всех стадиях процесса углефикации: в какой-то степени РЗЭ могут поглощать растения-углеобразователи из растворов, на этапах торфонакопления и углефикации элементы могут сорбироваться микроорганизмами, продуктами их жизнедеятельности, а также компонентами органоминерального вещества торфов и(или) углей [3]. В условиях агрессивной среды палеоторфяника РЗЭ находятся в подвижной форме и в конечном итоге накапливаются в органическом веществе. Экспериментальное моделирование процессов сорбции РЗЭ компонентами ОВ в лабораторных условиях может способствовать выяснению механизмов редкоземельной минерализации бурых углей.

Для экспериментов по сорбции РЗЭ разными компонентами органического вещества использовали уголь (У) Сергеевского буроугольного месторождения, выделенные из него по ГОСТ 9517-94 (ИСО 5073-85) гуминовые кислоты (ГК) и остаточный уголь (НОС – неорганический остаток); низинный торф (Т) (Егорьевское месторождение, слой 50-60 см); грибную биомассу (Гр) *Penicillium canescens* 9(6).

Рабочие растворы с концентрациями РЗЭ 2, 5, 20, 50 мкг/дм³ готовили разбавлением дистиллированной водой аликвоты 16-элементного (La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu + Sc и Y) стандартного образца (МЭС РЗЭ, ООО НПП «Скат», Новосибирск) с исходной концентрацией элементов 50 мг/дм³; pH растворов (от 2,01 до 4,26) доводили 0,1 н HCl. Время установления равновесия в сорбционной системе твердое–раствор РЗЭ определяли при изучении динамики сорбции моноэлементного раствора (La(NO₃)₃) и экстраполировали для многоэлементного раствора РЗЭ. Рабочие растворы с концентрациями La 1, 3, 5, 10, 50, 100 ммоль/л получали разведением соли La(NO₃)₃, квалификации «ч», дистиллированной водой; pH растворов (от 1,3 до 6,3) доводили 0,1 н HCl.

Сорбцию проводили методом ограниченного объема раствора – в колбы к навескам сорбентов (~0,02 г) приливали 20 мл раствора. Процесс взаимодействия ограничивали 1-7 (для электронной микроскопии – 30) сутками при периодическом перемешивании, после чего сорбент отделяли фильтрованием. Остаточное содержание РЗЭ в растворах определяли масс-спектральным (X-7, Thermo Elemental, США) и атомно-эмиссионным (ICAP-61, Thermo Jarrell Ash, США) с индуктивно связанной плазмой методами (ИЦ ИПТМ РАН (г. Черноголовка); La – в лаб. аналитической химии (АЦ ДВГИ ДВО РАН, г. Владивосток). Величину сорбции определяли по формуле: $A, \text{мг/г} = (C_{\text{исх}} - C_{\text{кон}}) \cdot V/m$, где $C_{\text{исх}}$, $C_{\text{кон}}$ – исходная и конечная концентрации элемента в растворе; V – объем раствора, мл; m – масса сорбента, г.

Электронно-микроскопические и микрорентгеноспектральные исследования выполняли в лаборатории микро- и наноисследований (АЦ ДВГИ ДВО РАН, г. Владивосток) на автоэмиссионном сканирующем электронном микроскопе (СЭМ) LYRA 3 XMH с энергодисперсионным спектрометром (ЭДС) AZtec X-Max 80 Standard и программным обеспечением AZtecFeature для автоматизированного поиска и анализа РЗЭ-содержащих и других минеральных микрозерен; ИК-спектрометрию выполняли с помощью ИК-Фурье

спектрометра Nicolet iS10 (Thermo Fisher Scientific) (АЦ МГИ ИГиП ДВО РАН, г. Благовещенск).

В результате изучения динамики адсорбции Ла органическими компонентами было определено время установления равновесия в системе ОБ – раствор, которое составило 24 часа. Поэтому в дальнейших экспериментах по изучению условий и параметров сорбции РЗЭ органоминеральными фракциями бурого угля ориентировались на этот временной период.

Результаты исследования показали, что в целом все используемые в качестве сорбентов органические вещества отличались высоким извлечением РЗЭ из экспериментальных растворов – степень извлечения по отдельным элементам варьировала от 63 до 99%. При невысоких исходных концентрациях РЗЭ (до 20 мкг/дм³) ГК и грибная биомасса характеризовались наибольшей сорбционной емкостью (43-507 и 45-505 мкг/г соответственно) относительно торфа и угля (43-531 и 38-490 мкг/г соответственно). Сравнительный ряд сорбционной емкости используемых материалов выглядит следующим образом – $ГК \geq Гр > Т \geq НОС > У$ (рис. 1а).

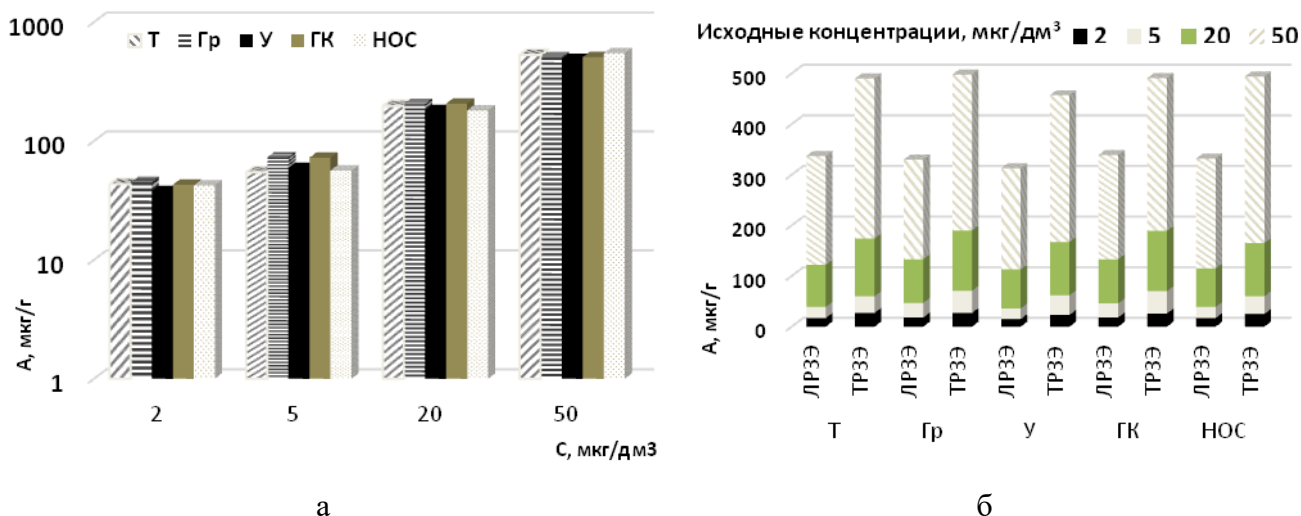


Рис. 1. Сорбционные характеристики разных органических сорбентов: а) сорбционная емкость органических сорбентов (торфа, угля, ГК, НОС, грибной биомассы) в зависимости от концентрации исходных растворов; б) соотношение сорбированных легких и тяжелых редкоземельных элементов (суммы) при разных концентрациях в исходных растворах.

В биосорбционных процессах выделяют активную (за счет метаболической активности живых клеток) и пассивную (за счет химического взаимодействия элементов с функциональными группами на поверхности клеток) стадии. Механизмы этого взаимодействия обуславливаются не только формами нахождения элементов в растворе, но и характеристиками клеточной поверхности. Формы нахождения элементов в растворе в свою очередь зависят от электронных свойств ионов, их взаимовлияния в составе растворов, что в конечном итоге отражается на степени их извлечения. В ходе сорбции всеми сорбентами наблюдается незначительное фракционирование между ЛРЗЭ и ТРЗЭ; в среднем до 38-40% сорбируется легких РЗЭ и 60-62% – ТРЗЭ. Тяжелые РЗЭ имеют большое отношение заряда к ионному радиусу, их потенциал ионизации выше и химические связи сильнее, чем у легких РЗЭ, вероятно поэтому количество ионов ТРЗЭ сорбировалось значительно больше, чем легких (рис. 1б). При варьировании условий эксперимента (исходной концентрации элементов, pH, длительности сорбции) сохранялась аналогичная тенденция в распределении показателей извлечения.

Торф – это многокомпонентная, полидисперсная система, состоящая из продуктов неполного превращения остатков наземных и болотных растений в условиях избыточного увлажнения. Процесс углефикации растительных остатков проходит через буроугольную стадию в условиях постепенно нарастающего анаэробног

вещества состоят из компонентов растительных тканей – белков, жиров, углеводов, лигнина, флавоноидов и др. Поэтому органическая часть ГК представлена углеродными полимерами ($R_1-C\equiv(R_2;R_3;R_4)$), где в качестве радикалов R_1-R_4 выступают карбоксильные и карбонильные группы, фенольные и спиртовые гидроксилы, хиноидные, лактонные и эфирные группировки, азотсодержащие (амино-, имидо-), фосфидо-, сульфидо- и др. группы [4, 5]. Как сорбент ГК подобны слабокислотным карбоксильным катионитам – при $pH < 6$ диссоциируются сильнокислотные и средней силы карбоксильные группы [6]. После экстракции из угля ГК и битумоидов остается неорганический остаток (НОС) или «остаточный» уголь, который представляет собой смесь биохимически устойчивых биополимеров, минералов и минералоорганических соединений. В этой фракции металлоносного угля РЗЭ могут встречаться минеральной форме [7], что выявлено и для исследуемого нами бурого угля (рис. 2г). Большим разнообразием химически активных функциональных групп характеризуется клеточная стенка микроскопических грибов [8, 9]. Ее сорбционную способность определяют функциональные группировки хитин-глюканового комплекса клеточной оболочки, неструктурных полисахаридов, белков, липидов, пигментов.

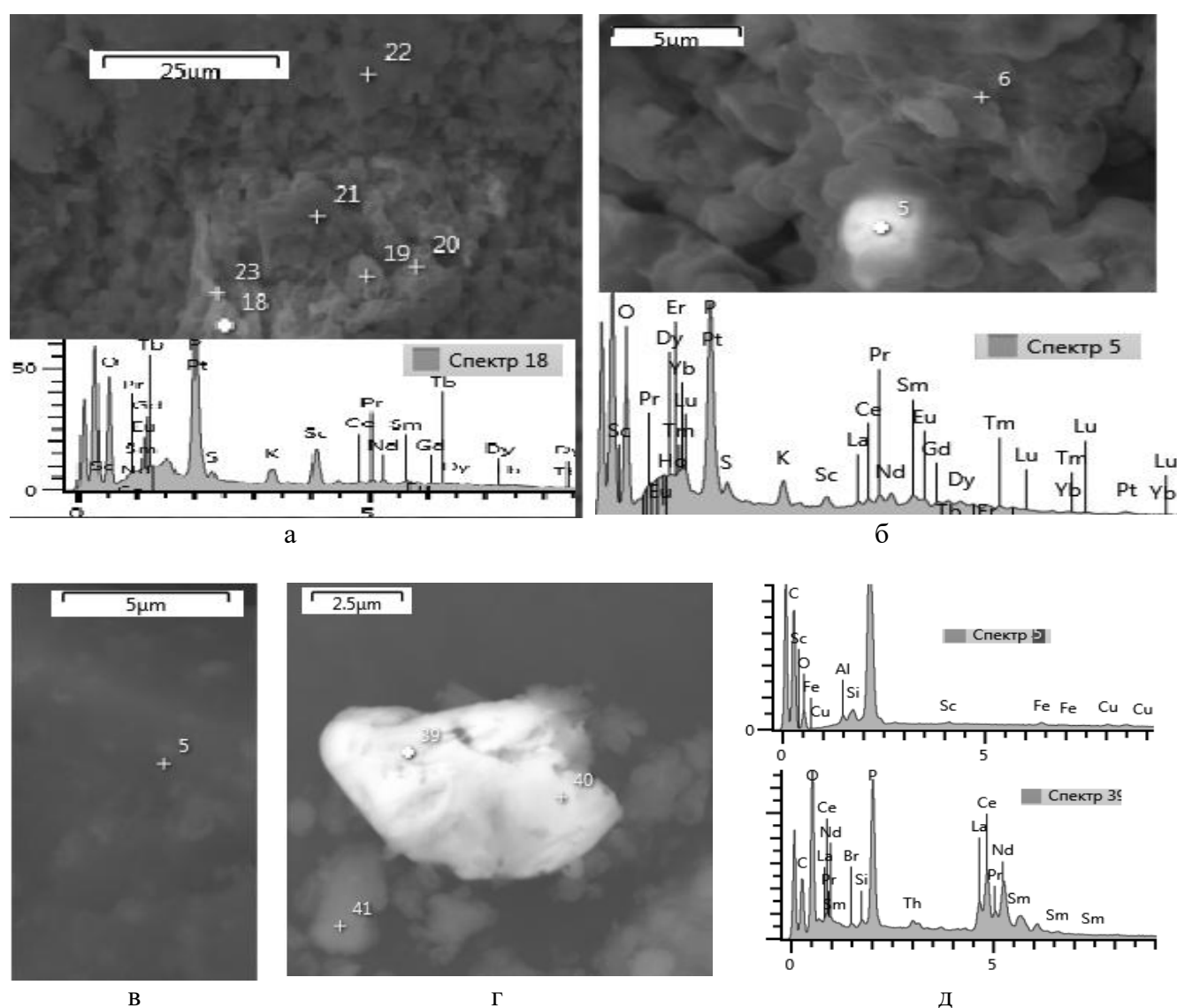


Рис. 2. СЭМ-микрофотографии: а, б – грибной биомассы с сорбированными РЗЭ; в – ГК; г – исходных препаратов НОС с минеральной частицей РЗЭ; д – ЭДС-спектры матрицы препарата ГК (спектр 5) и минеральной частицы в составе исходного препарата НОС (спектр 39).

Изменение параметров ИК-спектров – исчезновение или появление, смещение полос поглощения, изменение их ширины, контура, величины поглощения несет информацию о величине и характере межмолекулярных взаимодействий. В ИК-спектрах торфа, бурого угля и его составляющих компонентов (ГК, НОС) после контакта с растворами РЗЭ положения основных полос отличаются от исходных ИК-спектров преимущественно смещением некоторых пиков (на 7-24 см⁻¹) или уменьшением их интенсивности (на величину от 26 до 59%), тогда как для грибной биомассы более характерно было появление нескольких новых пиков. Поэтому можно предположить, что в условиях эксперимента взаимодействие ионов РЗЭ с органическими компонентами угля частично осуществляется за счет электростатического притяжения, а механизм сорбции металлов имеет преимущественно ионообменный характер. Дополнительно на это указывает изменение рН экспериментальной среды в кислую область, а также значительный выход в экспериментальный раствор ионов Na, K и др. Связывание ионов РЗЭ клеточной стенкой грибов включает комбинацию механизмов из ионного обмена, хелатирования, и возможно восстановительных реакций, сопровождаемых формированием минеральных фаз на материале грибных клеточных стенок (рис. 2а, б). В качестве восстанавливающих агентов могут выступать синтезируемые грибами органические кислоты.

Таким образом, качественные изменения в составе и структуре органического вещества в совокупности с геохимической специализацией палеообстановки на разных стадиях торфоуглеобразования обуславливают преобладание одного из механизмов сорбции РЗЭ. Взаимодействие ионов РЗЭ с органическими компонентами угля осуществляется за счет электростатического притяжения, а механизм сорбции металлов имеет преимущественно ионообменный характер. Связывание ионов РЗЭ клеточной стенкой грибов включает комбинацию механизмов из ионного обмена, хелатирования и восстановительных реакций, сопровождаемых формированием минеральных фаз, кластеров, наночастиц.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-27-00116, <https://rscf.ru/project/22-27-00116/>

Литература

1. Арбузов С.И., Ильенок С.С., Машенькин В.С., Сунь Юйчжуан, Блохин М.Г., Иванов В.В., Зарубина Н.В. Редкоземельные элементы в позднепалеозойских углях Северной Азии (Сибирь, Северный Китай, Монголия, Казахстан) // Изв. Томского политехнического университета. Инжиниринг ресурсов. 2016. Т. 327. № 8. С. 74–88.
2. Шпирт М.Я., Середин В.В., Горюнова Н.П. Формы соединений редкоземельных элементов в углях // Химия твердого топлива. 1999. № 3. С. 91–99.
3. Eskenazy G.M. Aspects of the geochemistry of rare earth elements in coal: an experimental approach // International Journal of Coal Geology. 1999. № 38. P. 285–295.
4. Орлов Д.С. Гумусовые кислоты почв и общая теория гумификации. М.: МГУ, 1990. – 325 с.
5. Иванов А.А., Юдина Н.В., Савельева А.В. Превращения гуминовых кислот при механоактивации торфа в окислительно-восстановительных условиях // Химия твёрдого топлива. 2015. № 2. С. 65–69.
6. Варшал Г.М., Кошеева И.Я., Велюханова Т.К., Чхетия Д.Н., Тютюнник О.А., Гриневская Ж.М. Сорбция тяжелых металлов и изотопных носителей долгоживущих радионуклидов на гуминовой кислоте: сообщение I. Сорбция цезия(I), стронция(II), церия(III), рутения(IV) на гуминовой кислоте // Геохимия. 1996. № 11. С. 1107–1112.
7. Середин В.В., Шпирт М.Я. Редкоземельные элементы в гуминовом веществе металлоносных углей // Литология и полезные ископаемые. 1999. № 3. С. 281–286.
8. Павлова Л.М., Радомская В.И., Шумилова Л.П., Ионов А.М., Сорокин А.П. О биоминерализации платины микроорганизмами // Доклады академии наук. 2017. Т. 473, № 6. С. 699–702.
9. Павлова Л.М., Некрасов Э.В., Радомская В.И., Шумилова Л.П., Бородин Н.А., Сорокин А.П. Биосорбция палладия (II) на клеточной стенке *Penicillium canescens* // Доклады академии наук. 2018. Т. 483, № 2. С. 190–192.

ИЗМЕНЧИВОСТЬ ВЕЛИЧИН КАРБОНАТНЫХ ПАРАМЕТРОВ НА АКВАТОРИИ ВОСТОЧНО-СИБИРСКОГО МОРЯ В ОСЕННИЙ СЕЗОН

И.И. Пипко, *irina@poi.dvo.ru*; С.П. Пугач, *pugach@poi.dvo.ru*; А.Э. Леусов, *leusov.ae@poi.dvo.ru*

Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, г. Владивосток

Восточно-Сибирское море (ВСМ) привлекает растущий научный интерес, что в значительной степени определяется его уникальным географическим положением. Оно относится к так называемым арктическим «внутренним» шельфовым морям [1], и его воды отличаются высочайшей биогеохимической активностью [2-10]. Они характеризуются природными пониженными величинами рН и карбонат-ионов, что обусловлено, в первую очередь, низкими температурами воды и значительным объемом поступающего на шельф речного стока. В совокупности с присутствием многолетнемерзлых пород, наземных и субаквальных, деградирующих с растущей скоростью и поставляющих в морские воды лабильное органическое вещество, конечным продуктом разложения которого является углекислый газ, эти факторы делают ВСМ зоной повышенного риска развития экстремальной коррозионности вод и позволяют определить этот регион как уникальную природную лабораторию, где наиболее ярко проявляются текущие климатические изменения.

С целью детальной оценки динамики параметров карбонатной системы и современного уровня коррозионности вод ВСМ по отношению к карбонату кальция в различных биогеохимических провинциях шельфа и изучения основных факторов и механизмов, определяющих пространственную динамику указанных характеристик, осенью 2019 г. (25 сентября – 4 октября) выполнены комплексные экспедиционные работы на нис «Профессор Мультановский» (Рис. 1).

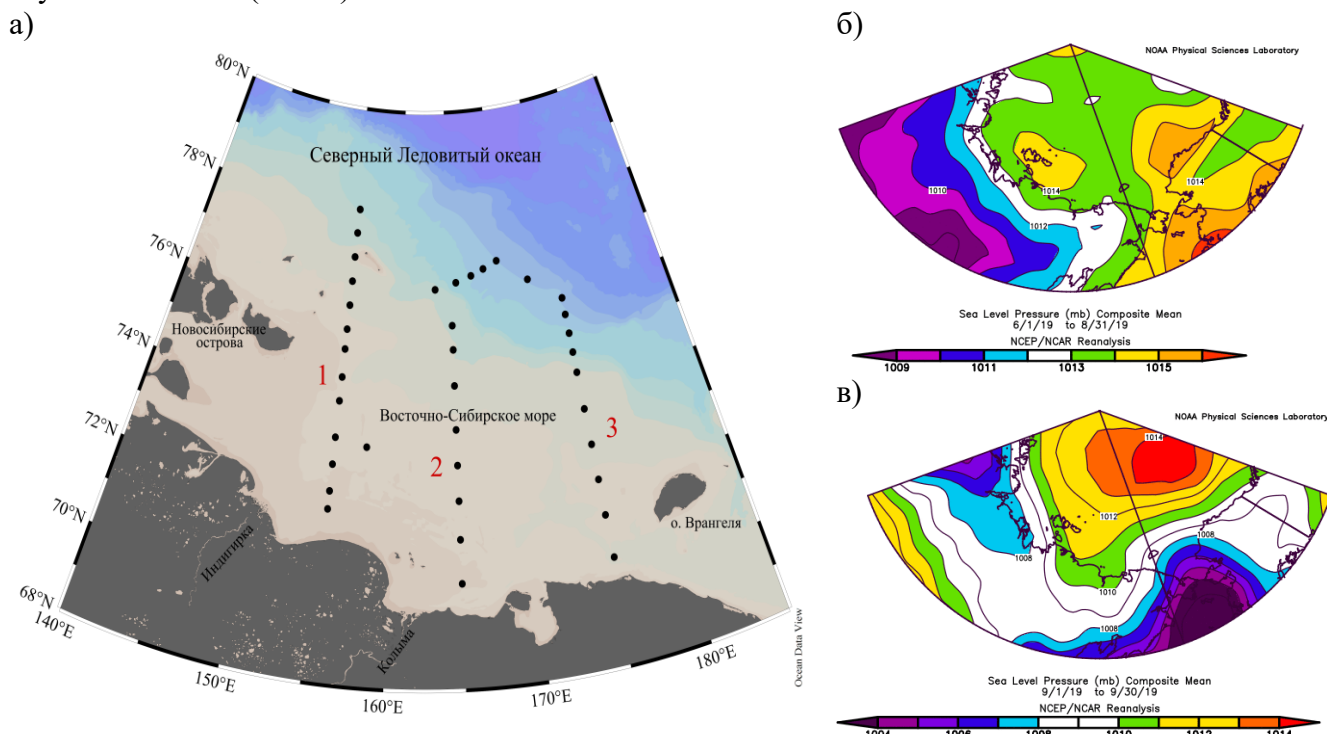


Рисунок 1. Карта района работ (а) и поля приземного давления (мбар) в летний сезон 2019 г. (б) и во время работ (в).

На основе измеренных величин общей щелочности (A_T) и рН были рассчитаны значения парциального давления CO_2 (pCO_2), концентрации растворенного неорганического углерода и

степени насыщения вод карбонатом кальция (арагонитом, W_{Ar}) (методы измерения и расчета подробно изложены в [2]).

Транзитное положение ВСМ и существование над его акваторией так называемого «контура нулевой завихренности», разделяющего два крупномасштабных центра атмосферной циркуляции в Арктике – Сибирский максимум (антициклон) и Исландский минимум (циклон) [11], делает океанографический режим моря весьма чувствительным к изменению доминирующего типа атмосферной циркуляции. В предшествующий исследованиям летний сезон и непосредственно во время работ над акваторией ВСМ и Чукотского морей располагался антициклон, но при этом поле атмосферного давления было малоградиентным (Рис. 1), что обуславливало невысокие скорости ветра. Выявленные особенности атмосферной циркуляции препятствовали переносу распресненных материковым стоком вод на восток, определяя их растекание на шельфе в северном, северо-западном направлении и способствуя проникновению трансформированных тихоокеанских вод на акваторию ВСМ (Рис. 2). Так, в поверхностном слое западной части моря рассчитанное содержание речных вод достигало 40%, на востоке и северо-востоке моря оно опускалось ниже 10%.

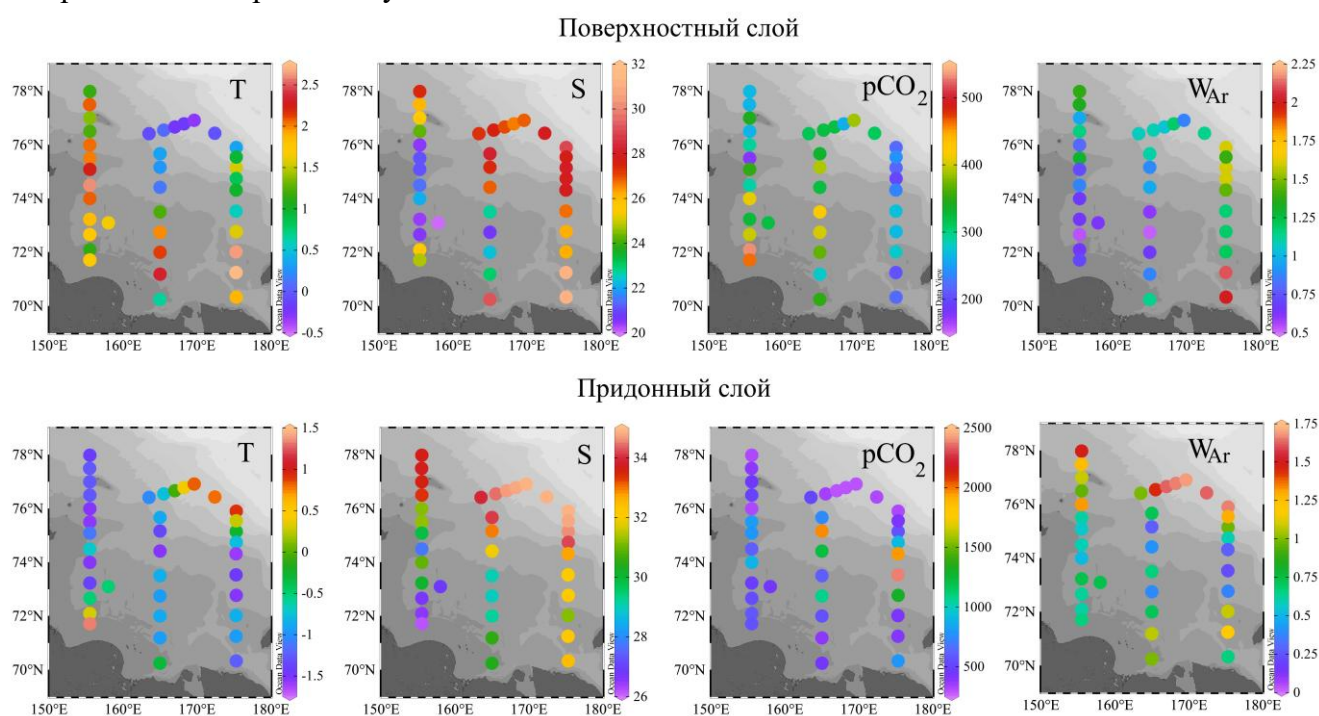


Рисунок 2. Распределение температуры (T , °C), солёности (S , ‰), парциального давления CO_2 (pCO_2 , мкатм) и степени насыщения вод арагонитом (W_{Ar}) в поверхностном и придонном слоях.

Как и во время предшествующих работ (август-начало сентября [2-8]), в осенний период на мелководном шельфе ВСМ также идентифицировались две биогеохимические провинции – западная (гетеротрофная) и восточная (автотрофная). Поверхностные воды западной провинции были пересыщены (до 533 мкатм) или близки к равновесию относительно атмосферных величин pCO_2 (404 мкатм); на востоке – северо-востоке они опускались до 200 мкатм (Рис. 2). Влияние речного стока и продуктов эрозии многолетнемерзлых пород на западе района проявлялось и в распределении поверхностных величин степени насыщения вод арагонитом, наиболее растворимой формой карбоната кальция – уровень насыщения был снижен до значений 0.52; в восточной части среднее значение составляло 1.36 при максимальных 2.11.

Основная часть вод всего придонного слоя была коррозионной по отношению к карбонату кальция – величины W_{Ar} были существенно ниже 1, равновесной величины, ниже которой происходит растворение арагонита. Исключение составили придонные воды внешнего шельфа на северо-западе и на континентальном склоне на северо-востоке моря, зоне максимального для района работ влияния атлантических вод, где величины W_{Ar} достигали значений 1.68 (Рис. 2, 3).

Но максимальные величины $p\text{CO}_2$ (до 2400 мкاتم) и минимальные W_{Ar} (0.22), сопровождаемые экстремально низким насыщением кислородом ($\sim 20\%$) и максимальным содержанием кремния (до 84 мкмоль/л), были обнаружены в придонном слое восточной провинции, зоне наибольшего влияния высокопродуктивных вод тихоокеанского генезиса. Зимние воды ($T \sim -1.4 - -1.7^\circ\text{C}$, $S \sim 32.7 - 33.0 \text{ ‰}$) претерпевали на шельфе последующую модификацию в результате взаимодействия с донными отложениями, содержащими лабильную автохтонную органику. Таким образом, низкие значения W_{Ar} ассоциировались с высокими величинами $p\text{CO}_2$ (и низкими pH), высокими концентрациями биогенных элементов, а также с низким содержанием кислорода, что свидетельствует о важности разложения органического вещества в контроле химического состава придонных вод шельфа. Далее эти воды переносились в глубокую часть Северного Ледовитого океана, занимая положение в водном столбе согласно плотностным характеристикам, и прослеживались на глубинах 50-100 м, формируя слой коррозионных вод (Рис. 3).

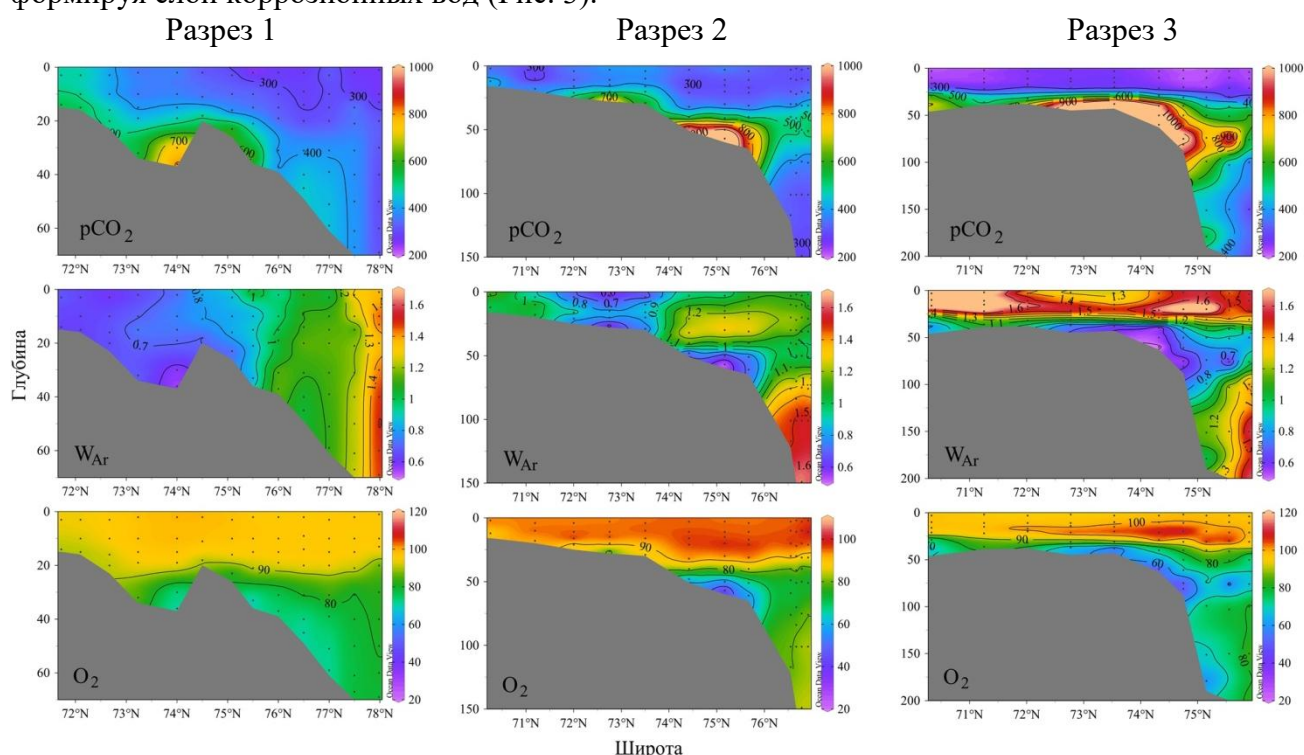


Рисунок 3. Распределение парциального давления CO_2 ($p\text{CO}_2$, мкاتم), степени насыщения вод арагонитом (W_{Ar}) и кислородом (O_2 , %) на меридиональных разрезах (положение разрезов показано на Рис. 1).

В результате выполненных исследований установлено, что в осенний сезон значительная часть поверхностных вод ВСМ (преимущественно в гетеротрофной западной провинции) является коррозионной по отношению к карбонату кальция и источником CO_2 в атмосферу. Но наиболее агрессивными по отношению к кальцифицирующей биоте являются воды придонного слоя, где степень насыщения арагонитом снижена до 0.22, а площадь коррозионных вод охватывает практически весь мелководный шельф. При этом, экстремально низкие значения W_{Ar} обнаружены в придонном слое восточной провинции, что определяется влиянием высокопродуктивных вод Чукотского моря и высоким содержанием более свежего и лабильного органического вещества как поступающего с водами Чукотского моря, так и синтезированного *in situ*. Обнаруженный на востоке района исследований перенос коррозионных шельфовых вод в подповерхностном слое в глубокую часть океана может оказывать потенциальное влияние на экосистему океанических вод в случае перемешивания со слоями, населенными арагонит-образующими организмами.

Исследования выполнены при финансовой поддержке Российского Научного Фонда (проект № 21-17-00027).

Литература

1. Wassmann P., Carmack E.C., et al. Towards a unifying pan-arctic perspective: A conceptual modelling toolkit // *Progress in Oceanography*. 2020. V. 189. 102455.
2. Pipko I.I., Semiletov I.P., et al. Interannual variability of air-sea CO₂ fluxes and carbon system in the East Siberian Sea // *Biogeosciences*. 2011. V. 8. P. 1987-2007.
3. Anderson, L.G., Björk, G., et al. East Siberian Sea, an Arctic region of very high biogeochemical activity // *Biogeosciences*. 2011. V. 8. P. 1745-1754
4. Пипко И.И., Семилетов И.П., Пугач С.П. О карбонатной системе вод Восточно-Сибирского моря // *ДАН*. 2005. Т. 402, N 3. С. 398-401.
5. Пипко И.И., Пугач С.П., Семилетов И.П. Распределение парциального давления CO₂ в придонных водах Восточно-Сибирского моря в осенний сезон // *ДАН*. 2009. Т. 425, № 2. С. 245-250.
6. Pugach S.P., Pipko I.I., et al. Dissolved organic matter and its optical characteristics in the Laptev and East Siberian seas: Spatial distribution and inter-annual variability (2003–2011) // *Ocean Science*. 2018. V. 14. P. 87–103.
7. Semiletov I.P., Pipko I.I., et al. Carbonate chemistry dynamics and carbon dioxide fluxes across the atmosphere-ice-water interfaces in the Arctic Ocean: Pacific sector of the Arctic // *Journal of Marine Systems*. 2007. Vol. 66 (1-4). P. 204-226.
8. Semiletov I., Pipko I., et al. Acidification of East Siberian Arctic Shelf waters through addition of freshwater and terrestrial carbon // *Nature Geoscience*. 2016. Vol. 9. P. 361-365.
9. Tesi, T., Geibel M.C., et al. Carbon geochemistry of plankton-dominated supra-micron samples in the Laptev and East Siberian shelves: contrasts in suspended particle composition // *Ocean Science*. 2017. V. 13. P. 735–748.
10. Vonk, J.E., Sánchez-García, L., et al. Activation of old carbon by erosion of coastal and subsea permafrost in Arctic Siberia // *Nature*. 2012. V. 489. P. 137-140.
11. Никифоров Е.Г., Шпайхер А.О. Закономерности формирования крупномасштабных колебаний и гидрологического режима Северного Ледовитого океана. - Л., Гидрометеиздат, 1980, 270 с.

ИЗМЕНЧИВОСТЬ КАТАЛАЗНОЙ АКТИВНОСТИ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЧВ В ПРЕДЕЛАХ ФИТОГЕННЫХ ПОЛЕЙ ХВОЙНЫХ ДЕРЕВЬЕВ ПРИМОРЬЯ

Л.Н. Пуртова, Purtova@biosoil.ru, И.В. Киселева, kiseleva-iv@inbox.ru

ФНЦ Биоразнообразие наземной биоты восточной Азии ДВО РАН, г. Владивосток

Изменчивость почвенного покрова в пределах фитогенных полей (ФП) различных пород деревьев привлекало внимание как российских, так и зарубежных исследователей. Объем почвы сформированный данным конкретным фитогенным полем дерева принято называть тессерой [1]. Тессера занимает пространство от ствола дерева до границы кроны, и таким образом характерна для любого дерева, любого леса и составляет почвенный покров леса. Установлено, что в пределах одной тессеры могут изменяться такие параметры почвы как: мощность подстилки, pH, содержание гумуса, элементов питания растений (N,P,K) [2,3]. При этом структура почвенного покрова формируется под влиянием таких факторов, как: фитогенное поле растений, динамика свойств почв, смена поколений деревьев и деятельность животных, которые на фоне климатических условий и местоположений по рельефу.

Ранее на территории Приморья исследована пространственная изменчивость физико-химических параметров бурых лесных почв внутри ФП парцелл под различными породами деревьев (*Quercus mongolica* Fisch. ex Ledeb и *Pinus Koraiensis* Siebold et Zucc). Проведена оценка кислотности почв, гумусного состояния, оптических параметров гуминовых кислот, содержания подвижных фосфатов в зависимости от удаленности точек опробования от ствола деревьев и ориентации секторов ФП [3,5]. Однако не уделялось должного внимания изменению биологической активности почв внутри ФП хвойных деревьев. Одним из показателей биологической активности почв, связанным с процессами гумусообразования и формирующимися окислительно-восстановительными условиями является каталазная активность, которая в настоящее время нашла широкое применение в биодиагностике и биомониторинге почв [4].

Целью данных исследований явилось изучение изменчивости как каталазной активности почв внутри фитогенного поля хвойных деревьев Приморья, так и их физико-химических параметров.

Объектом исследований явились почвы, сформированные в пределах Верхне-уссурийского лесного стационара (Приморский край, Чугуевский район) под хвойными породами деревьев. Изучались буроземы под плюсовыми деревьями сосны корейской в пределах фитогенных полей со следующим строением морфологического профиля: АУао – ВМ – С. Название почв дано согласно Классификации и диагностике почв России (2004) [6]. На поверхности буроземов развита подстилка от 2 до 10 см. Горизонт АУао имеет мощность от 5 до 20 см. Почвы сильнокаменистые с укороченным профилем, расположены на склонах юго-западной экспозиции. Высота над уровнем моря составляет до 700 м. Внутри ФП деревьев почвенные образцы отбирались по секторам в направлении: север, юг; по схеме: I – приствольная часть (30 см от ствола); II – средняя часть (середина проекции кроны); III – краевая часть (край проекции кроны). Определение каталазной активности (Ка) в поверхностных горизонтах почв проводили газометрическим методом по Галстяну [7]. В почвенных образцах определяли кислотность почв (рНв, рНс) потенциометрически с помощью комбинированного стеклянного электрода на рН метре HI 2215 HANNA [8]. Из-за обилия органических остатков в поверхностных горизонтах почв, содержание органического вещества определяли по данным потери при прокаливании (ПП) в муфельной печи при 550°C. Расчет содержания Сорг проводили по результатам потери при прокаливании с вводом коэффициента пересчета [9]. Содержание фосфора определяли по методу Гинзбург-Артамоновой [10].

Полученные данные обработаны с помощью статистических инструментов программы Microsoft Office Excel.

Рост деревьев сосны корейской на данной территории, судя по полученным данным рНв, происходит в основном в условиях слабокислой и близкой к нейтральной реакции среды (табл.). В структурно-метаморфических горизонтах реакция среды в основном кислая и слабокислая, реже близкая к нейтральной. Подщелачивание почвы в поверхностном горизонте наблюдалось в средней части фитогенного поля дерева № 3 в секторе северной ориентации. Возраст дерева достигал 240 лет, диаметр кроны 11,5 м. Подщелачивание почв на этом участке ФП, на наш взгляд, связано с привносом зольных элементов с опадом широколиственных пород деревьев, произрастающих в непосредственной близости с сосной корейской.

В горизонте АУ_{ао} бурозема под деревом № 3 в секторе северной ориентации показатели рНс изменялись: в приствольной и средней части кроны реакция среды слабокислая, а на краевых участках – среднекислая.

Таблица. Изменение кислотности (рНв, рНс) в поверхностных горизонтах буроземов в пределах ФП Сосны корейской

Ориентация секторов ФП	Гори-зонт	Участок ФП					
		I		II		III*	
		рНв	рНс	рНв	рНс	рНв	рНс
Дерево № 3, 240 лет (подрост липы амурской) Верхне-уссурийский стационар							
Север	AY _{ao}	5.35	6.03	7.11	6.13	6.02	5.53
	BM	—	—	6.34	5.34	5.09	3.90
Юг	AY _{ao}	6.45	5.74	6.56	5.92	6.61	6.35
	BM	6.56	5.92	6.56	5.77	6.09	5.36
Дерево № 7, 200 лет (подрост пихты белокорой) Верхне-уссурийский стационар							
Север	AY _{ao}	4.57	3.48	6.00	4.85	6.03	4.99
	BM	4.60	3.34	4.75	3.52	4.90	3.65
Юг	AY _{ao}	5.76	4.63	6.12	5.16	6.60	5.14
	BM	4.80	3.58	4.88	3.65	5.26	4.14
Дерево № 4, 210 лет (подрост вишни Максимовича) Верхне-уссурийский стационар							
Север	AY _{ao}	6.04	5.20	6.02	5.49	5.70	4.95
	BM	—	—	5.87	4.74	6.02	5.02
Юг	AY _{ao}	5.58	4.65	6.03	5.45	6.35	5.84
	BM	5.59	4.46	5.70	4.82	4.85	3.66
Дерево № 1 (кедрово-пихтовая грабово-кленовая парцелла) Ботанический сад г. Владивосток							
Север	AY	4.6	3.93	4.55	3.04	4.61	3.79
	BM	4.8	3.72	4.11	3.57	4.68	3.65
Юг	AY	4.61	3.99	4.60	3.94	4.69	4.10
	BM	4.59	3.75	4.69	3.80	4.14	3.79

Примечание: участки ФП – I – 30 см от ствола; II – середина кроны; III – край кроны; «–» - нет данных

Закономерность к снижению уровня кислотности у края кроны установлена нами ранее для ФП кедр корейского (кедрово-пихтовая грабово-кленовая парцелла), произрастающего на территории Ботанического сада г. Владивостока [3].

Отмечены изменения Ка в пределах ФП исследуемых деревьев. Для поверхностных горизонтов буроземов, в пределах ФП хвойного дерева № 3, наиболее высокие показатели каталазной активности (Ка) наблюдались в приствольных участках в секторе северной ориентации и краевом участке южной. Согласно оценочным грациям Д.Г. Звягнцева [7] поверхностные горизонты почв высоко обогащены каталазой.

Показатель потери при прокаливании (ПП) достигает наиболее высоких значений в секторе ФП северной ориентации. Высокие значения ПП зафиксированы в приствольных и краевых участках кроны (до 56%). Такая закономерность характерна для всех почв внутри ФП исследуемых деревьев. Снижение показателей ПП в секторе южной ориентации на наш взгляд

обусловлено усилением процессов трансформации органического вещества микрофлорой в благоприятных термических условиях её функционирования.

Для участка ФП дерева № 7 характерны более низкие параметры рНв и рНс в приствольной и средней части кроны как северной, так и южной ориентации по сравнению с деревом 3. Это связано с большим количеством поступления опада хвойных деревьев, подкислением поверхностных горизонтов за счет более высокого содержания органического вещества. В секторе северной ориентации актуальная кислотность горизонта АУао изменялась от кислой в приствольном участке до слабокислой в средней части и у края кроны. Судя по показателю рНс реакция среды варьировала от очень сильно кислой в приствольных участках ФП до кислой в средней и краевых участках кроны. В секторе южной ориентации дерева 7 отмечено возрастание показателей как рНв, так и рНс.

Наибольшие показатели Ка отмечены в пределах ФП дерева № 7 в приствольной части и на краевых участках кроны. Здесь же зафиксированы и наибольшие значения показателя ПП. При этом в секторе северной ориентации эти показатели значительно выше.

В пределах ФП дерева № 4 резких изменений в показателях актуальной кислотности (рНв) не наблюдали. Во всех секторах ФП этого дерева реакция почвенной среды слабокислая. Изменения прослеживались в параметрах рНс на краевых участках кроны – реакция среды была кислой, тогда как в приствольном и среднем участках ФП она оставалась слабокислой. Для ФП дерева № 4 характерны наиболее низкие параметры ПП и уровня каталазной активности в средней части кроны как северной так и южной ориентации. Обогащенность поверхностных горизонтов каталазой достигала средних значений, а на краевых участках возрастала до высоких. При этом отмечалось увеличение показателей ПП.

Между параметрами Ка и ПП установлены тесные связи. Более высокие коэффициенты корреляции (r) свойственны для пары показателей Ка - ПП в пределах ФП деревьев № 7 и № 4. ($r = + 0.84$; $r = + 0.88$). Тогда как в секторах ФП дерева № 3 характер связи изменялся на противоположную, и связь была выражена слабо ($- 0.06$). Это, на наш взгляд, связано с различиями в процессах трансформации органического вещества в пределах ФП этих деревьев. В горизонте ВМ уровень каталазной активности снижался и соответствовал бедной обогащенности почв каталазой.

Наряду с исследованием содержания органического углерода и Ка изучено распределение подвижных фосфатов (P_2O_5) внутри ФП, оказывающих важное влияние на продуктивность деревьев. Как показали результаты проведенных исследований, резких различий в содержании подвижных фосфатов не установлено. В горизонте АУао в секторах северной и южной ориентации в пределах ФП исследуемых деревьев, количество P_2O_5 изменялось от очень низких (от 2.0 мг/100 г почвы) до низких (4.85 мг/100 г почвы) значений. В горизонте ВМ прослеживалась общая тенденция к снижению содержания P_2O_5 .

Судя по средним показателям рНвод. в секторе северной ориентации всех исследованных деревьев отмечены более низкие показатели кислотности почв (5.9) по сравнению с южной – 6.2. Вероятно, это связано с более интенсивными процессами минерализации органического вещества в секторе южного направления и замедлении этих процессов в северном секторе. Средние показатели содержания органического вещества в горизонте АУао северного сектора исследованных деревьев выше, чем южного. Более высокие средние показатели содержания органического вещества в почвах зафиксированы под деревом № 3. Рассмотренные 6 положений точек опробования в пределах ФП сосны корейской (приствольная часть, середина и край кроны в секторах северной и южной ориентации) указывают на большее накопление органического вещества в приствольной части кроны и ее краях в секторе северной ориентации. Как показала статистическая обработка данных, установлены достоверные различия в содержании органического вещества под деревьями 3 и 7 и 3 и 4 (критерий Манна-Уитни составил 0.03-0.04). Тогда как значимых различий по содержанию Сорг. под деревьями 4 и 7 не установлено. Для дерева 3 при этом отмечены более высокие показатели рНвод. (6.3) по сравнению с деревьями 7 и 4 (5.8-5.9). Однако, значимых различий в показателях актуальной кислотности почв в пределах ФП исследованных деревьев

не установлено, т.к. большая часть, отобранной для анализа почвы, имела слабокислую реакцию среды.

Таким образом, полученные данные характеризуют неоднородность почвенных условий внутри ФП сосны корейской и неравномерное изменение напряженности ФП. Это проявляется в изменчивости физико-химических параметров почв в зависимости от ориентации секторов ФП и удаленности точек опробования от ствола дерева и позволит, в дальнейшем, оценить складывающуюся неоднородность почвенного покрова внутри ФП.

Литература

1. Карпачевский Л.О., Холопова Л.Б., Просвирина В.П. О динамике строения почвенного покрова в лесных биогеоценозах // Почвоведение. 1989. № 5. С. 94-103.
2. Ипатов В.С., Кирикова Л.А. К характеристике фитогенного поля *Picea abies* (Pinaceae) в зеленомошных сосняках // Ботанический журнал. 2001. Т. 86. № 5. С. 94-103.
3. Пуртова Л.Н., Верхолат В.П. Изменчивость физико-химических показателей почв в пределах фитогенных полей дуба зубчатого (*Quercus dentata* Thumb.) и дуба монгольского (*Q. Mongolica* Fisch. ex Ledeb) на юге Дальнего Востока России // Интродукционные центры Дальнего Востока России: итоги исследований. Материалы первой отчетной сессии регионального совета ботанических садов Дальнего Востока. Владивосток: Дальнаука, 2001. С. 143-152.
4. Yang Lijuan, Li Tianlai, Li Fusheng et al. Fertilization regulates soil enzymatic activity and fertility dynamics in a cucumber field // Scientia Horticulturae. 2008. Vol. 116. № 1. P. 21-26.
5. Purtova L.N., Verholat V.P. Soil conditions for growing of *Quercus Dentata* in different hydrothermal provinces of the Russia far East South // Biodiversity and dynamics of ecosystems in North Eurassia. Part 2. Soils ecosystems of North Eurasia. Novosibirsk, 2000. P. 85-87.
6. Классификация и диагностика почв России. М.: Изд-во Ойкумена, 2004. 341 с.
7. Методы почвенной микробиологии и биохимии // под ред. Д.Г. Звягинцева. М.: МГУ, 1991. 304 с.
8. Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. М.: Изд-во МГУ, 1970. 487 с.
9. Rodeghiero M., Heinemeyer A., Schrumpt M., Bellamy P. Determination of soil carbon stocks and changes // Soil Carbon Dynamics an integral Methodology. Cambridge University Press, 2009. P. 49-75.
10. Агрохимические методы определения фосфора в переувлажненных почвах (методические рекомендации) / Стрельченко Н.Е., Куркина О.К. Владивосток: Изд-во ДВО АН СССР, 1988. 48 с.

НИТРИТЫ В ВОДЕ МАЛЫХ РЕК ХАБАРОВСКАИ.С. Синькова, *rina.sinkova@gmail.com*

Институт водных и экологических проблем ДВО РАН, г. Хабаровск

Мониторинг качества вод малых рек имеет большое значение при оценке экологического состояния урбанизированных территорий. Главной целью мониторинга является определение естественного качества воды и оценка его изменения в результате влияния антропогенных факторов.

Биогенным элементом, имеющим особое значение для развития жизни в водных объектах, является азот. Его основными минеральными формами являются: аммонийная, нитритная и нитратная. Отсутствие таких соединений в воде приводит к прекращению роста и развития растительности, а избыток, наоборот, вызывает эвтрофикацию водного объекта и ухудшение качества воды. Нитриты являются промежуточным продуктом биохимического окисления аммиака или восстановления нитратов. В аэробной среде, посредством нитрифицирующих бактерий, происходит окисление аммиака до азотистой кислоты, т.е. процесс нитрификации. Следующий этап данного процесса – доокисление с образованием азотной кислоты. Поскольку нитриты – неустойчивые компоненты, то в незагрязненных водах присутствуют в незначительном количестве [1]. Усиление процессов разложения органических веществ в условиях дефицита кислорода приводит к повышению содержания нитритов. Это позволяет использовать такие соединения в качестве маркера загрязненности водного объекта.

В г. Хабаровске гидрохимическая изученность малых рек низкая, хотя проблема качества их вод существует давно [2]. В настоящее время, сотрудники ИВЭП ДВО РАН работают над пополнением собственной информационной базы данных о гидрохимическом составе малых рек, дренирующих территорию г. Хабаровска и его окрестностей [3]. Полученные данные позволяют следить за экологическим состоянием водотоков, которое связано, как с различными этапами развития города, так и с сезонным изменением погодных условий.

Наблюдения за химическим составом воды малых рек г. Хабаровска и прилегающих к нему жилых районов (Плюснинка, Красная речка и Гнилая падь), а также Большехехцирского заповедника (Левая, Правая, Осиновая, Половинка и Быкова) осуществляли в 2020–2022 гг. Пробы воды отбирали с поверхности. Схема района исследований приведена на рисунке. Аналитические работы проводили в Центре коллективного пользования при ИВЭП ДВО РАН. Содержание нитритного азота измеряли посредством фотометрического метода с применением реактива Грисса [1].

Водотоки, дренирующие территорию Большехехцирского заповедника [4,5], характеризуются наименьшими уровнями таких концентраций. Вне зависимости от сезона года, содержание нитритов не превышало ПДК для вод рыбохозяйственного значения ($0,08 \text{ мг/дм}^3$) [6]. Максимальное значение ($0,055 \text{ мг/дм}^3$), что соответствует $0,69\text{ПДК}$, было зафиксировано в р. Осиновая в июне 2022 г. Такие данные говорят о естественном сокращении содержания токсичных форм азота (нитрита и аммония) в водах, не подверженных выраженному антропогенному воздействию.

В работе изучались водотоки, протекающие в районах с различной степенью урбанизации. Р. Плюснинка – центр города, территории с высотной застройкой; река убрана в бетонный коллектор, с апреля по середину ноября устье находится под высокими водами р. Амур. Р. Красная речка – верхняя часть водотока расположена за пределами южной части г. Хабаровска, преобладает малоэтажная застройка и садово-огородные участки; впадает в Протоку Амурская. Р. Гнилая падь дренирует территории как с малоэтажной, так и с высотной застройкой.



Рисунок – Расположение рассматриваемых рек

Основным источником питания р. Плюснинки являются неочищенные воды изношенных систем водоснабжения и водоотведения. Их повышенная температура в закрытых условиях коллектора создает благоприятную среду для жизнедеятельности нитри- и денитрифицирующих бактерий в зимний период. В ходе наблюдений установлено нормальное распределение содержаний минеральных форм азота: $\text{NO}_2^- < \text{NH}_4^+ < \text{NO}_3^-$. Однако даже при таких условиях среднее превышение ($0,3 \text{ мг/дм}^3$) ПДК составляет 3,75 раза, а максимальное ($1,06 \text{ мг/дм}^3$) – 13,3 раз (март, 2021).

Русло р. Красная речка замерзает, как правило, в середине декабря, а весенний отбор проб возможен с середины марта. В этом случае некорректно рассматривать среднее превышение содержаний нитритов, которые изменяются в диапазоне от 0,02 (апрель, 2022) до $0,64 \text{ мг/дм}^3$ (июнь, 2022). Преобладание частных секторов на площади водосбора ведет к значительному увеличению содержания аммонийного [7] и нитритного азота в воде. На неконтролируемые сбросы неочищенных бытовых сточных вод указывают, в том числе, стабильные загрязнения фосфатами и АПАВ [5]. Не смотря на превышение ПДК нитритов от 1,6 (октябрь, 2021) до 8 раз, аэробные условия, положительная температура воды и значительная протяженность реки также способствуют нормальному распределению содержания азотных форм: $\text{NO}_2^- < \text{NH}_4^+ < \text{NO}_3^-$. Однако при последовательном протекании цикла азота, количества аммони-, нитри- и денитрифицирующих бактерий недостаточно для поддержания благоприятного уровня содержания токсичных форм азота. Распределение данных, полученных в марте 2021, в том числе из р. Гнилая падь, и вовсе имеет вид: $\text{NO}_2^- < \text{NO}_3^- < \text{NH}_4^+$. Вероятно, это связано с началом половодья, когда в реки попадают также вещества, накопленные за зимний период в снеговом покрове и вымываемые из прилегающих территорий.

В водах р. Гнилая падь ярко выражено нарушение нормального протекания азотного цикла ($\text{NO}_2^- < \text{NO}_3^- < \text{NH}_4^+$) в течение всего года. Предположительно, это связано с плотной застройкой территории водосбора, с преобладанием частного сектора.

Таким образом, рассмотренные водотоки Хабаровска, дренирующие территории с разным типом застройки, характеризуются превышенным, относительно ПДК, содержанием нитритов. При этом соотношение разных минеральных форм азота, как правило, соблюдено. Сравнение данных, полученных из проб рек Плюснинка, Красная речка, Гнилая падь с максимальным значением в р. Осиновая ($0,055 \text{ мг/дм}^3$), показало превышение в 19,3, 11,6 и 10,5 раз соответственно.

Литература

1. РД 52.24.381-2017. Массовая концентрация нитритного азота в водах. Методика измерений фотометрическим методом с реактивом Грисса.
2. Морина О.М., Шестеркин В.П., Шестеркина Н.М., Иванова Е.Г. Проблемы качества воды малых рек г. Хабаровск и его окрестностей // Города Дальнего Востока: экология и жизнь человека: материалы конф. Владивосток – Хабаровск: ДВО РАН, 2003. С. 104-106.
3. Шестеркин В.П., Афанасьева М.И., Шестеркина Н.М. Особенности качества воды малых рек Хабаровска в зимний период // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2019. №3. С. 43-51.
4. Shesterkin V. P., Sinkova I. S., Kaminsky O. I. Dynamics of the Content of Mineral Forms of Nitrogen in the Water of Small Rivers in Khabarovsk during the Winter Period // Journal of Ecological Engineering. – 2021. – Vol. 22. – No 10. – P. 121-126. – doi 10.12911/22998993/142120issn.
5. Синькова И.С. Использование малых рек как показателя антропогенного воздействия на урбанизированные территории на примере города Хабаровска // Молодые ученые - Хабаровскому краю, Материалы XXIV краевого конкурса молодых ученых, Издательство: Тихоокеанский государственный университет (Хабаровск), 2022, С. 126-130.
6. Приказ Минсельхоза России от 13.12.2016 N 552 (ред. от 10.03.2020). Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения. М.: Минюст России, 2017. № 45203.
7. Синькова И.С. Оценка качества воды малых рек Хабаровска в зимнюю межень в 2020-2021 годах // Региональные проблемы, Том: 24, (2-3), 2021, С. 43-46, doi: 10.31433/2618-9593-2021-24-2-3-43-46.

О КАЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКЕ НАЛИЧИЯ РТУТНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ МАЛЫХ РЕК

О.С. Хомченко, *homchenko.ru@mail.ru*

Институт водных и экологических проблем ДВО РАН, г. Хабаровск

Когда мы говорим об условиях среды обитания, то, в первую очередь, подразумеваем влияние на организм таких важнейших факторов как температура воздуха, влажность, газовый состав атмосферы, сила ионизирующего излучения и пр. Однако весьма важным для безопасной жизнедеятельности является уровень загрязняющих веществ. В настоящее время в России установлены критерии безопасности/безвредности таких компонентов среды обитания, как атмосферный воздух поселений и производственных помещений, вода различного назначения использования, почва [1]. Но это далеко не все объекты, требующие мониторинга их экологического состояния. И один из таких объектов – донные отложения, являющиеся одновременно индикатором загрязнения водоема, очищающим сорбентом и источником вторичного загрязнения вод. В виду отсутствия установленных ПДК загрязняющих веществ в донных отложениях (в том числе ртути) при оценке степени загрязненности в качестве критериев используют сравнение с фоновыми участками, с кларками элементов, в том числе региональными, с целевыми значениями, с зарубежными нормативами или выражают через коэффициент накопления и степень влияния на биоту [2]. Безусловно, каждый из предложенных методов оценки дает определенное представление о наличии и выраженности ртутного загрязнения. Но, в некоторых случаях, информация о региональных фонах отсутствует, местонахождение ближайшего реперного участка слишком удалено от пункта обследования, а применение зарубежных нормативов не совсем корректно ввиду чрезвычайного различия природных условий. В таких условиях оптимальным представляется мониторинг содержания ртути в донных отложениях и использование анализа динамики ее концентраций для оценки текущей обстановки и прогнозов. Но данный подход требует наличия большого массива многолетних статистических данных, которые, в большинстве случаев, отсутствуют.

Отсутствовали статистические данные о содержании ртути и в отношении малых рек г. Хабаровска, так как подобные исследования ранее не проводились. В тоже время малые реки города испытывают значительное антропогенное воздействие, о чем свидетельствуют результаты мониторинга состава вод, проводимого ИВЭП ДВО РАН, и регулярно освещаемого в научных публикациях [3,4]. В связи с чем исследования были начаты с попытки установить, каково текущее состояние донных отложений, подвержены ли они ртутному загрязнению. Такие данные могли стать «точкой отсчета» для оценки и прогнозирования динамики изменения «ртутной обстановки», а также выявления источников загрязнения.

Пробы верхнего слоя (0-5 см) донных отложений (ДО) были отобраны с различных участков малых рек, дренирующих территории, различающиеся степенью их освоенности и видом хозяйственного использования, в период открытого русла. Одновременно проводился отбор проб верхнего слоя почвы с прилегающих территорий. Образцы были высушены при комнатной температуре, измельчены и просеяны через сито диаметром 1 мм. Измерение массовой доли общей ртути выполнено в Центре экологического мониторинга ИВЭП ДВО РАН на анализаторе ртути РА-915+ с приставкой ПИРО-915+ согласно М 03-09-2013. Всего исследовано 30 парных проб.

При анализе полученных данных было замечено, что концентрация Hg в ДО на участках рек, дренирующих хорошо освоенные территории или принимающие сточные воды, выше, чем на участках дренирующих ненарушенные или малоосвоенные участки. Абсолютные концентрации ртути в загрязненных участках с течением времени изменялись в 1,2-2,5 раза [5].

Но как определить, действительно ли выявленные концентрации превышают естественные уровни и свидетельствуют о загрязнении водотока или это лишь колебания концентраций под действием природных факторов в пределах границ региональной нормы? С этой целью был проведен сравнительный анализ содержания Hg в ДО и почвах с прилегающих территорий, который выявил:

а) на ненарушенных и малоосвоенных участках содержание ртути в почве превышало таковое в донных отложениях в среднем в 1,5 раза. Кроме того, между ними выявилась некоторая корреляционная зависимость ($r = 0,72$);

б) на хорошо освоенных и загрязненных участках наблюдалась обратная зависимость - содержание ртути в донных отложениях превышало таковое в почве, в среднем в 1,4 раза, но с менее значимой корреляцией ($r = 0,57$).

Все это позволило предположить, что если концентрация ртути в верхнем слое ДО малых рек не превышает таковую в верхних слоях почв прилегающих территорий, то антропогенное ртутное загрязнение водотока отсутствует. В пользу такого утверждения свидетельствуют данные о близких концентраций ртути в илах и аккумулятивном и среднем горизонте легких почв, выявленные на фоновых участках севера Западной Сибири [6].

Представленный подход несколько созвучен оценке степени загрязненности ДО через коэффициент кратности средней характерной концентрации [7]. Однако применение данного коэффициента не получило широкого распространения.

В свете вышеизложенного предлагается использовать для оценки наличия/отсутствия загрязнения водотоков ртутью качественный «Критерий парного сравнительного анализа концентраций» (Кпск), заключающийся в сравнении концентраций ртути, выявленных в верхних слоях донных отложений и в верхних горизонтах почв прилегающих территорий.

$$Кпск = C_{Hg}ДО / C_{Hg} почва$$

Если $Кпск < 1$, то водоток не испытывает повышенной ртутной нагрузки, т.е. нагрузка на водоток не превышает фоновую нагрузку на водосборную территорию в целом. Если $Кпск \geq 1$, то ртутная нагрузка на водоток выше, чем фоновая нагрузка на водосборную территорию. Чаще всего такое повышение является следствием сброса сточных вод (в том числе очищенных), или поверхностного смыва с загрязненных участков (с территорий свалок, промышленных и сельскохозяйственных предприятий, сельской застройки и пр.) и может служить индикатором наличия источников загрязнения окружающей среды.

Для исследованных проб с освоенных участков $Кпск = 1,5$, имелись «выбросы» 0,8 и 0,9. Для проб ненарушенных участков $Кпск = 0,7$, имелись «выбросы» 1,0 и 1,3. Наличие «выбросов» можно объяснить неопределенностью методики измерений, которая в зоне низких концентраций (до 100 мкг/кг) составляет 45%, или отсутствием ртутного загрязнения ДО при неудовлетворительных органолептических показателях воды (цвет, запах, мутность), что также весьма вероятно.

При использовании $Кпск$ следует помнить следующее.

1. Критерий является «относительным», так как оценка производится путем сравнения содержания Hg в ДО и в окружающих почвах, без какого-либо сравнения с ПДК.

2. Критерий является «узконаправленным», так как характеризует конкретный ограниченный участок водотока в конкретный момент времени.

3. Критерий является «качественным» - так как одни и те же абсолютные концентрации элемента в объектах исследования могут свидетельствовать как о наличии, так и об отсутствии загрязнения.

4. Критерий не распространяется на водотоки, на дне которых не откладывается ил, например реки и ручьи с песчаным или каменистым дном, а также на торфянистые участки, где содержание металлов сильно зависит от химизма мхов их образующих [6].

Кроме того не следует проводить исследования непосредственно после паводков, когда основная масса ДО смывается к устью или в более крупные водотоки. Необходимо тщательно подбирать участки для отбора почвенных образцов, избегая захламленных территорий, свежих насыпей, нарушенных рельефов. Критерий, вероятно, не применим к крупным водотокам и

иным водным объектам (по крайней мере, без предварительного исследования).

Безусловно, на первый взгляд, данный подход выглядит несколько легкомысленным, так как не учитывает характера донных отложений, типа почв, биогеохимической среды водотока, форм присутствующей ртути и т.д. Однако изучение влияния вышеперечисленных факторов является темой отдельного исследования. Представленный критерий лишь позволяет определить, является ли установленное в ДО содержание ртути фоновым для данного участка водотока в конкретный момент времени или оно повышено в результате загрязнения, т.е. испытывает ли водоток более сильную ртутную нагрузку, чем территория в целом.

Автор заранее выражает глубокую признательность исследователям, проводящим аналогичные работы в иных природно-географических условиях, за их мнения, дополнения, поддержку или обоснованную критику относительно данного критерия качественной оценки наличия ртутного загрязнения донных отложений водотоков.

Литература

1. Санитарные правила и нормы СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов внешней среды обитания». Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов, 2021. 469 с. URL: <https://docs.cntd.ru/document/573500115>
2. Мягкая И.Н., Сарыг-Оол Б.о.Ю., Кириченко И.С., Густайтис М.А., Лазарева Е.В. Экогеохимическая оценка рек Ярлы-Амры и Чибитка, расположенных в ореоле действия Акташского ртутного месторождения и его отвалов. // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2022. Т. 333. № 4. С. 7-26.
3. Морина О.М., Шестеркин В.П., Шестеркина Н.М., Иванова Е.Г. Проблемы качества вод малых рек г. Хабаровск и его окрестностей // Города дальнего Востока: экология и жизнь человека: материалы конф. Владивосток-Хабаровск: ДВО РАН, 2003. С. 104-106.
4. Синькова И.С. использование малых рек как показателя антропогенного воздействия на урбанизированные территории на примере города Хабаровска // Молодые ученые - хабаровскому краю. Материалы XXIV краевого конкурса молодых ученых. Изд-во: Тихоокеанский государственный университет (Хабаровск). 2022. С. 126-130.
5. Хомченко, О. С. Ртуть в донных отложениях малых рек г. Хабаровск // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2022. № 3. С. 51-56.
6. Опекунова М. Г., Опекунов А. Ю., Кукушкин С. Ю., Ганул А. Г. Фоновое содержание химических элементов в почвах и донных осадках севера Западной Сибири // Почвоведение. 2019. № 4. С. 422-439.
7. Кленкин А. А., Павленко Л. Ф., Корпакова И. Г., Темсрдашев А. Обоснование обобщающего показателя качества экологического состояния донных отложений // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2007. Т. 73. № 8. С. 11-14.

ГИДРОХИМИЯ МАЛЫХ РЕК ХАБАРОВСКА В ЛЕТНЮЮ МЕЖЕНЬ

В.П.Шестеркин, *shesterkin@ivep.as.khb.ru*, И.С. Синькова, Н.М. Шестеркина

ХФИЦ Институт водных и экологических проблем ДВО РАН, г. Хабаровск

Урбанизация – мощный фактор преобразования качества вод малых рек из-за сбросов сточных вод, вод ливневого и талого стока. В Хабаровске, проблема качества вод малых рек существует более ста лет. В 1905 г. санитарный врач Чириков А.В. писал, что “...реки Плюснинка, Чердымовка и Лесопилка, впадающие в Амур, по-видимому, предназначены городской администрацией для роли естественной канализации” [7, с. 4]. Далее он продолжал “По ложу речки Плюснинки струится клоачная жидкость и несколько ниже казенного дебаркадера изливается в реку, к несчастью именно в том месте, где берут воду, как водовозы, так и корейцы-водоносы [7, с. 127].

Мониторинг за качеством воды рр. Черная речка и Березовая с 1975 г. осуществляет “Росгидромет” в период открытого русла. Согласно этим наблюдениям р. Черная относится к числу «очень грязных», а р. Березовая – «грязных». В настоящее время эти водотоки являются приемниками сточных вод МУП “Водоканал”. В 2019 г. в русловую их сеть поступило (т): 9,5 фосфатов, 1,9 нефтепродуктов и 0,95 фенолов [2].

Исследования ИВЭП ДВО РАН в 1997–2000 гг. дали возможность получить первые сведения о содержании главных ионов и биогенных веществ в воде рр. Черная, Чердымовка, Березовая и др. [3]. Материалы наблюдений в зимнюю межень 2017–2018 гг. свидетельствовали о загрязнении малых рек Хабаровск аммонийным и нитритным азотом [8, 9].

В Хабаровске большое влияние на качество вод его малых рек оказывают подземные воды, воды ливневого и талого стока, сбросы промышленных и бытовых сточных вод. В период летней межени, очень редко наблюдаемой и мало изученной фазы водного режима, влияние сточных вод проявляется наиболее заметно.

Наблюдения проводили в конце мая 2022 года. Пробы воды рек (кроме р. Лесопилка и р. Чердымовка из-за подпора воды в р. Амур) отбирали с поверхности, анализировали в ЦКП при ИВЭП ДВО РАН. В воде определяли содержание главных ионов (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^- , SO_4^{2-} и Cl^-) и биогенных веществ (NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- и HPO_4^{2-}) по [6]. Схема района исследований дана на рисунке. При оценке загрязнения использовали значения ПДК вредных веществ для водных объектов рыбохозяйственного значения РФ [5].



Рис. Схема расположения водотоков: 1 – Матрениха; 2 – Безымянная; 3 – Красная речка; 4 – Черная; 5 – Гнилая падь; 6 – Плюснинка; 7 – Курча-Мурча; 8 – Полежаевка; 9 – Березовая

Химический состав вод малых рек Хабаровска формируется на Среднеамурской низменности ограниченной на севере Воронежскими высотами, на юге – предгорьями Большого и Малого Хехцира, в центральной части города – холмисто-увалистой поверхности. В период летней межени в питании рек активное участие принимают подземные воды, отдельных водотоков – воды изношенных систем водоснабжения и водоотведения, иногда – сточные воды жилищно-коммунального хозяйства.

В мае 2022 г. в г. Хабаровск выпало 54 мм осадков, причем 22,8 мм в период с 5 по 29 мая, 14 дней осадки отсутствовали [4].

Таблица. Химический состав вод малых рек г. Хабаровск в мае 2022 г.

Показатели качества воды	Водотоки								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
pH	7,2	7,3	7,5	7,8	7,5	8,1	7,8	7,7	7,8
Na ⁺ , мг/дм ³	25	49	14	34	39	16	32	35	41
K ⁺ , мг/дм ³	8	13	3	8	11	4	6	9	7
Ca ²⁺ , мг/дм ³	22	26	21	64	44	26	55	57	35
Mg ²⁺ , мг/дм ³	8	7	5	14	9	6	15	14	9
HCO ₃ ⁻ , мг/дм ³	137	272	74	280	229	104	248	238	193
Cl ⁻ , мг/дм ³	21	51	16	44	38	18	30	34	26
SO ₄ ²⁻ , мг/дм ³	20	22	11	36	18	20	30	43	8
NH ₄ ⁺ , мг N/дм ³	5,3	35,0	0,7	4,7	10,1	0,3	4,4	0,6	0,5
NO ₂ ⁻ , мг N/дм ³	0,03	< 0,02	0,08	0,03	<0,03	0,09	0,18	0,05	0,09
NO ₃ ⁻ , мг N/дм ³	0,37	< 0,02	0,95	0,42	0,05	0,81	0,54	0,44	1,20
HPO ₄ ²⁻ , мг P/дм ³	0,23	3,57	0,07	0,09	1,28	0,03	0,08	0,08	0,02
ПО, мг O/дм ³	8,9	61,0	5,4	8,9	18,8	4,4	8,6	10,1	10,8
Нефтепродукты, мг/дм ³	0,04	1,2	0,02	0,08	0,18	0,03	0,50	0,03	0,09
АПAB, мг/дм ³	0,29	2,9	0,045	0,12	0,89	< 0,025	0,21	0,047	0,055
Фенольный индекс, мг/дм ³	0,002	0,12	0,001	0,004	0,007	0,002	0,018	0,003	0,007
Минерализация, мг/дм ³	257	500	150	498	410	205	443	434	329

Примечание: Номера даны в соответствии с рисунком, ПО – перманганатная окисляемость.

Малые водотоки Хабаровска характеризуются слабощелочными величинами pH и широкой амплитудой минерализации (табл.). Наименьшие значения минерализации отмечаются в воде р. Красная речка, дренирующей в верхнем течении большой массив садово-огородных участков, а в среднем – район с малоэтажной застройкой. Максимальные величины были зафиксированы в воде pp. Безымянная и Гнилая падь в питании которых доминируют бытовые сточные воды. Поэтому по сравнению с зимней меженью [8] минерализация воды р. Красная речка была в 3 раза ниже, а pp. Безымянная и Гнилая падь различалась незначительно. Остальные водотоки в летнюю межень содержали солей меньше, чем зимой (в р. Плюснинка в 2,4 раза). Исключением являлась лишь р. Полежаевка, в которой величина минерализации в 2 раза была выше из-за диффузионных источников загрязнения.

Существенные различия отмечались в солевом составе. В воде р. Безымянная относительное содержание Ca²⁺ достигало 19%-экв, Матрениха – 31%-экв, Черная и Березовая – 39%-экв. В остальных водотоках его содержание находилось в пределах 47,3–51,0%-экв. Среди анионов значительным доминированием отличалось содержание HCO₃⁻ (64,4–73,3%-экв). Поэтому по химическому составу воды были гидрокарбонатными: натриево-кальциевыми (Матрениха и Березовая), аммониевыми (Безымянная) или кальциевыми (остальные реки).

Характерной чертой рек города является повышенное содержание в воде биогенных веществ из-за сбросов бытовых сточных вод. Среди минеральных форм азота доминирует аммонийная форма, содержание которой в основном превышает значение ПДК (0,39 мг N/дм³). Наибольшее загрязнение вод аммонийным азотом отмечается в воде р. Безымянная (90 ПДК), меньше pp. Черная, Гнилая падь и Матрениха (26, 14 и 12 ПДК соответственно). Загрязнение ионами аммония характерно и для вод р. Курча-Мурча (до 11,3 ПДК), дренирующей

территорию нефтеперерабатывающего завода. Остальные водотоки загрязнены этим веществом незначительно. В небольших пределах, от предела обнаружения до 4,5 ПДК изменяется содержание нитритного азота. Максимальная концентрация нитритов отмечается в воде рр. Березовая, Плюснинка и Красная речка, минимальная – в воде р. Безымянная из-за создания восстановительной среды. Отсутствие в воде кислорода обуславливает и крайне низкое содержание нитратного азота в воде рр. Безымянная и Черная, в остальных водотоках его содержание изменяется в узком диапазоне (табл.). Содержание фосфатов варьирует в широких пределах, максимум загрязнения зафиксирован в воде рр. Безымянная (18 ПДК) и Черная (6 ПДК), минимум – р. Матрениха (1,2 ПДК). По сравнению с зимней меженью [8] в период летней межени воды большинства малых рек меньше загрязнены аммонийным азотом и фосфатами.

Содержание органических веществ изменяется в широких пределах, наибольшим загрязнением нефтепродуктами (24 ПДК), АПАВ (29 ПДК) и фенолами (120 ПДК) характеризуется вода р. Безымянная. Меньше загрязнены этими веществами воды рр. Курча-Мурча (5; 2,1 и 18 ПДК), Черная (3,6, 8,9 и 7,0 ПДК), Березовая (1,8; 0,6 и 7 ПДК) и Гнилая падь (1,6; 1,2 и 4 ПДК соответственно). Воды остальных рек отличаются низкими концентрациями АПАВ (кроме р. Матрениха) и фенолов. По сравнению с зимой [8] воды остальных рек, кроме р. Черная, в период летней межени, загрязнены нефтепродуктами и АПАВ меньше из-за процессов деструкции. В воде р. Матрениха это превышение составило 63,3 и 9,8 раз, р. Красная речка – 14 и 10 раз соответственно.

Таким образом, воды малых рек г. Хабаровск в период летней межени характеризуются широкой амплитудой колебаний величин минерализации и слабощелочными значениями pH, гидрокарбонатно-кальциевым, реже кальциево-натриевым, иногда аммониевым составом. Среди минеральных форм азота преобладает аммонийная форма. Максимальное загрязнение аммонийным азотом, фосфатами, нефтепродуктами, АПАВ и фенолами отмечено в воде р. Безымянная в питании которой доминируют бытовые сточные воды. По сравнению с зимой малые реки Хабаровска в летнюю межень в основном содержат меньше солей, менее загрязнены аммонийным азотом и фосфатами, нефтепродуктами и АПАВ.

Литература

1. Алекин О.А. Основы гидрохимии. - Л.: Гидрометеиздат, 1970. - 413 с.
2. Государственный доклад о состоянии и об охране окружающей среды Хабаровского края в 2019 году/под ред. А.А. Сабитова. - Хабаровск: МПР Хабаровского края. 2020. 268 с.
3. Морина О.М., Шестеркин В.П., Шестеркина Н.М., Иванова Е.Г. Проблемы качества малых рек г. Хабаровск и его окрестностей // Города Дальнего Востока: экология и жизнь человека: материалы конф. 25-27 февраля 2003 г. Хабаровск [сб. докл.]. Владивосток-Хабаровск: ДВО РАН, 2003. С. 104–106.
4. Погода и Климат. Режим доступа: http://www.pogodaiklimat.ru/history/31735_2.htm (дата обращения)
5. Приказ Минсельхоз России от 13.12.2016 № 552. “Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения”. М.: Минюст России, 2017. № 45203.
6. РД 52.18.595-96 Руководящий документ Федеральный перечень методик выполнения измерений, допущенных к применению при выполнении работ в области мониторинга загрязнения окружающей природной среды. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200036098> (дата обращения: 19.08.2021)
7. Чириков А.В. Реки Амурского бассейна (Шилка, Амур и Сунгари) в санитарном отношении. - СПб.: М.П.С. 1905. -133 с.
8. Шестеркин В.П., Афанасьева М.И., Шестеркина Н.М. Особенности качества воды малых рек Хабаровска в зимний период // Геоэкология, инженерная геоэкология, гидрогеология, геоэкология. 2019. № 3. С. 43–51.
9. Shesterkin V.P., Sinkova I.S., Kaminsky O.I. Dynamics of the content of mineral forms of nitrogen in the water of small rivers in Khabarovsk during the winter period //Journal of Ecological Engineering. 2021. vol. 22, no. 10, pp. 121-126.

ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЗЕЙСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА В МНОГОВОДНУЮ ЗИМУ 2022 ГОДА

В.П.Шестеркин¹, *shesterkin@ivep.as.khb.ru*, П.Н. Терский^{2,4}, С.Л. Горин^{3,4}

¹ХФИЦ Институт водных и экологических проблем ДВО РАН, г. Хабаровск,

²Государственный океанографический институт имени Н.Н. Зубова ("ГОИН"), г. Москва

³Всероссийский НИИ рыбного хозяйства и океанографии ("ВНИРО"), г. Москва

⁴Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, г. Москва

Зейское водохранилище – крупнейшее в бассейне Амура, в Российской Федерации занимает третье место по полному объему. Помимо использования энергетического потенциала реки его появление снизило риск возникновения наводнений ниже г. Зея, способствовало сохранению экологического состояния реки и судоходства ниже плотины. Водоохранилище многолетнего регулирования, при НПУ 315,0 м глубина достигает 98 м, полный и полезный объем воды – 68,4 и 32,3 км³ соответственно, площадь зеркала – 2420 км². Длина водохранилища составляет 225 км, площадь водосбора – 82 500 км³. Максимальный уровень воды отмечался в 2013 г. (319,53 м) и 2021 г. (318,67 м), приток – в 2021 г. (50,4 км³) и 2013 г. (47,6 км³).

В отличие от других водохранилищ Сибири и Дальнего Востока (Вилуйского, Братского, Бурейского и др.) Зейское водохранилище характеризуется длительным периодом наполнения (1975–1985 гг.). Такое продолжительное поступление солей из затопленных почв и растительности оказало большое влияние на формирование химического состава его вод.

Гидрохимические исследования в 1985, 1989 и 1994 гг. позволили получить первые сведения о химическом составе вод Зейского водохранилища в начале его эксплуатации [6]. В многоводном 2013 г. были получены данные о содержании в воде концентраций главных ионов [2, 7] и микроэлементов [5, 8], их распределении по акватории и глубине водохранилища в летний период. Слабо изученным оставалось лишь распределение растворенных веществ в зимний период. Данная работа восполняет данный пробел.

Наблюдения проводили с 8 по 14 марта 2022 г. при уровнях воды от 311,46 до 311,21 м, т.е. снижении объема с 60,2 до 59,7 км³. Пробы воды отбирали преимущественно с поверхности и придонного слоя, у плотины – дополнительно на глубине 60 м, на приустьевых участках рр. Зея и Арги – с поверхности. В воде определяли содержание главных ионов, биогенных и органических веществ по принятым в гидрохимии методам. Анализ проб воды осуществляли в г. Хабаровск в Центре коллективного пользования при ИВЭП ДВО РАН.

По химическому составу воды Зейского водохранилища относятся к гидрокарбонатному классу, группе кальция, первому типу [1], характеризуются нейтральными величинами pH. Минерализация и содержание главных ионов по сравнению с летним периодом из-за исключительно большого притока воды в 2021 г. изменяются в широких пределах. Если в июле 2013 г. значение минерализации по акватории и глубине распределялось относительно равномерно, в среднем составляло 24,8 мг/дм³ [7], то в марте 2022 г. на Центральном участке оно изменялось в пределах 25,6–31,0 мг/дм³, Гилюйском – 28,5–38,5 мг/дм³, Бомнакском – 42,0–65,1 мг/дм³. Причем, на Центральном и Хвойном участках наибольшие значения минерализации вследствие процессов криогенного концентрирования отмечались в поверхностных слоях воды, а в каньонной части водохранилища из-за влияния «старых» вод – в придонных горизонтах на глубине 82–89 м. Отсутствовали различия в значениях минерализации по глубине лишь на Снежногорском участке (27,7–28,0 мг/дм³). Повышенной величина минерализации могла быть на приустьевых участках малых рек Бол. Гармакан и Широковка, дренирующих карбонатные отложения хр. Тукурингра: концентрации иона кальция и сульфатного иона в июле 2013 г. здесь достигали 19,0 и 14 мг/дм³ соответственно,

минерализация – 110 мг/дм³ [7]. Максимальные же значения минерализации, обусловленные выносом растворенных веществ с затопленных болот Верхнезейской равнины в условиях значительного падения уровня воды и роста толщины ледяного покрова, отмечались на приустьевых участках рр. Зея (до 147,9 мг/дм³) и Арги (223,9 мг/дм³). Подледная вода на этих участках характеризовалась на порядок более высокими, чем на остальных участках водохранилища, концентрациями сульфатного иона (29,2 мг/дм³) и иона кальция (15,2 мг/дм³), повышенным содержанием ионов магния (5,3 мг/дм³) и калия (2,5 мг/дм³). Подобные уровни минерализации и концентраций главных ионов могли иметь место в приустьевых участках рр. Уркан, Ижак, Темна и др., дренирующих в нижнем течении затопленные большие массивы болот Верхнезейской равнины, воды которых отличаются значительным содержанием органических веществ [4]. Влияние рр. Зея и Арги проявлялось и в повышенных значениях минерализации (65,1 мг/дм³), концентраций иона кальция (9,3 мг/дм³), магния (2,6 мг/дм³) и сульфатного иона (5,0 мг/дм³) в придонных слоях воды Бомнакского участка.

На остальных участках Зейского водохранилища концентрации главных ионов были существенно меньше, хотя по сравнению с июлем 2013 г. они (кроме хлоридного и сульфатного ионов, иона магния) были выше (табл.). Среди анионов в составе воды этих участков отмечалось хорошо выраженное преобладание гидрокарбонатного иона (80,6%-экв). Значительно меньше была концентрация сульфатного (14,0%-экв) и хлоридного (5,4%-экв) ионов. В катионном составе отмечалось доминирование иона кальция (58,7%-экв). Содержание иона магния было менее 20,9%-экв, натрия не превышало 14,5%-экв.

Таблица. Содержание главных ионов и минерализация в воде Зейского водохранилища, мг/дм³

Год	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	М
Июль, 2013	<u>0,8–1,0</u>	<u>0,5–0,7</u>	<u>3,9–4,3</u>	<u>1,2–1,4</u>	<u>14,0–15,9</u>	<u><1,0–4,1</u>	0,5–0,8	<u>23,0–26,5</u>
	1,0	0,6	4,1	1,3	15,5	2,2	0,7	24,8
Март, 2022	<u>1,2–1,6</u>	<u>0,8–1,4</u>	<u>4,0–5,9</u>	<u>0,8–1,3</u>	<u>17,0–23,2</u>	<u>1,0–3,8</u>	<u>0,5–0,9</u>	<u>25,6–38,5</u>
	1,3	0,9	4,7	1,0	18,5	2,5	0,7	30,4

Примечание: числитель – интервал концентраций; знаменатель – среднее значение.

Содержание аммонийного азота и минерального фосфора на всех участках водоема, за исключением приустьевых участков рр. Зея и Арги, незначительное: первого находится ниже 0,03 мг N/дм³, второго – 0,004 мг P/дм³. В водах же приустьевых участков рр. Арги и Зея содержание этих веществ вследствие создания анаэробных и близких к ним условий на затопленных болотах достигает максимальных значений (до 0,84 мг N/дм и 0,017 мг P/дм³). В широких пределах изменяется и содержание нитратного азота (от <0,02 до 0,12 мг N/дм³) максимальные концентрации которого наблюдаются в придонных горизонтах воды Гилуйского и Хвойного участков. Наименьшее значение было характерно для вод р. Зея и придонного горизонта воды Бомнакского участка.

Значительная заболоченность бассейна Зейского водохранилища выделяет его среди водохранилищ Дальнего Востока и Сибири повышенными значениями цветности воды и перманганатной окисляемости (ПО). В марте 2022 г. значения ПО и цветности воды изменялись в очень больших пределах. Максимальные, аномальные для поверхностных вод Дальнего Востока, величины из-за возникновения анаэробных условий и криогенных процессов отмечались на приустьевых участках рр. Арги (34 мг O/дм³ и 997°) и Зея (29 мг O/дм³ и 908°). Наименьшими значениями характеризовались воды р. Зея выше подпора (4,8 мг O/дм³ и 29°). На остальных участках водохранилища цветность воды варьировала от 62 до 107°, значения ПО – от 10 до 19,3 мг O/дм³, причем наименьшие значения наблюдались в придонных слоях воды Гилуйского участка, а наибольшие – в поверхностных горизонтах воды Хвойного участка.

Заболоченность притоков Зейского водохранилища оказывает значительное влияние и на содержание железа в воде. В начале заполнения водохранилища его содержание за счет образования восстановительной среды, обусловившей поступление закисного железа из донных отложений в воду, в нижних слоях воды достигало 4,6 мг/дм³ [6]. В июле 2013 г.

содержание железа не превышало $0,23 \text{ мг/дм}^3$ [8]. Максимальные значения в основном отмечались в придонных слоях воды Центрального участка, причем различия между нижними и верхними горизонтами воды были минимальными (до $0,06 \text{ мг/дм}^3$). Более существенными вследствие паводка на р. Гиллой были различия в распределении по глубине в районе плотины ГЭС (от $0,01$ до $0,10 \text{ мг/дм}^3$). В марте 2022 г. содержание растворенного железа в воде всех участков водохранилища, за исключением приустьевых рр. Арги и Зея, находилось в пределах $0,37\text{--}0,71 \text{ мг/дм}^3$. Причем, на Гиллойском и Центральном участках содержание железа по глубине распределялось относительно равномерно, а на Приплотинном и Хвойном участках наибольшие концентрации отмечались в придонных горизонтах воды. Максимальные же концентрации растворенного железа, также как и аммонийного азота, наблюдались на приустьевых участках рр. Арги и Зея (до 28 мг/дм^3), причем содержание закисного железа достигало $0,96 \text{ мг/дм}^3$.

Аналогичные процессы, вызывающие значительный рост концентраций железа и органических веществ, наблюдаются зимой на затопленных водами Амура после паводков заболоченных массивах Приамурья. На болотном массиве в районе с. Славянка в Нанайском районе Хабаровского края, например, в конце декабря величина минерализации воды подолдом достигала $186,5 \text{ мг/дм}^3$, содержание железа – $5,1 \text{ мг/л}$, значение ПО – $199,1 \text{ мг О/дм}^3$ [3].

Поступление значительного количества вод Зейского водохранилища (в январе в среднем достигало $1387 \text{ м}^3/\text{с}$), содержащих повышенные концентрации растворенного железа и органических веществ, также как и в первые годы эксплуатации водохранилища [8], обусловило рост концентраций этих веществ и в водах среднего Амура зимой. Ориентировочно, ионный сток Зейской ГЭС за период с 8 по 14 марта 2022 г. составил $18,6$ тыс. т.

Таким образом, значительный приток воды в Зейское водохранилище в 2021 г. обусловил в зимний период в его водах крайне неравномерное распределение концентраций растворенных веществ по акватории и глубине. Максимальные значения минерализации, концентрации ионов кальция, магния, гидрокарбонатного и сульфатного ионов, аммонийного азота, органических веществ и железа отмечались на приустьевых участках рр. Арги и Зея. В каньонной и центральной части водоема значение минерализации воды изменялось в узких пределах ($25,6\text{--}38,5$), концентрация иона аммония не превышала $0,03 \text{ мг N/дм}^3$, значений цветности и ПО – 107° и $19,3 \text{ мг О/дм}^3$, растворенного железа – $0,71 \text{ мг/дм}^3$. Сделано предположение о поступлении больших количеств растворенных веществ в р. Амур зимой в условиях возросших расходов воды Зейской ГЭС.

Литература

1. Алекин О.А. Основы гидрохимии. - Л: Гидрометеиздат. 1970. - 413 с.
2. Арефина Т.И., Бородинская Г.В. и др. Гидроэкологический мониторинг зоны влияния Зейского гидроузла. - Хабаровск: ДВО РАН, 2010. - 354 с.
3. Иванов А.В., Шестеркин В.П. Преобразование химического состава вод при промерзании болот болотного массива у пос. Славянка // Ресурсы болот СССР и пути их использования. 1989. С. 149–154.
4. Лебедев Ю.М., Каспарова С.Г., Кашин Н.П., Куклина Н.М. Формирование стока биогенных элементов и органического вещества в верховьях Зеи // Гидрохимия и гидрология юга Дальнего Востока. Владивосток: ДВНЦ АН СССР. 1977. С. 46–52.
5. Левшина С.И., Матюшкина Л.А. Особенности распределения растворенных форм металлов и металло-гумусовых комплексов в водах Зейского водохранилища // Водные ресурсы. 2021. Т. 48. № 6. С. 685–695.
6. Мордовин А.М., Петров Е.С., Шестеркин В.П. Гидроклиматология и гидрохимия Зейского водохранилища. - Владивосток-Хабаровск: Дальнаука. 1997. - 138 с.
7. Шестеркин В.П. Солевой состав вод Зейского водохранилища // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2015. № 5. С. 32–42.
8. Шестеркин В.П., Сиротский С.Е., Шестеркина Н.М. Микроэлементы в водах Зейского водохранилища // Жизнь пресных вод. - Владивосток: БПИ ДВО РАН. 2016. С. 47–53.
9. Шестеркин В.П., Шестеркина Н.М. Влияние Зейского и Бурейского водохранилищ на зимний гидрохимический режим среднего Амура // Научные основы экологического мониторинга водохранилищ: Дружининские чтения, 28 фев.-3 мар. 2005 г. Хабаровск [сб. докл.]. Хабаровск: ИВЭП ДВО РАН. 2005. С. 63–65.

НЕОБХОДИМОСТЬ СОХРАНЕНИЯ ЛЕСНОГО РЕФУГИУМА В БАССЕЙНЕ ЛЕВОБЕРЕЖЬЯ СРЕДНЕГО АМУРА

Шлотгауэр С.Д. saxifraga@ivep.as.khb.ru

ФГБУН ХФИЦ ДВО РАН Институт водных и экологических проблем, г.Хабаровск

Таежная зона Дальнего Востока, располагаясь в зоне контакта Тихого океана и крупнейшего континента на Земле, характеризуется сложным и своеобразным сочетанием широтно-зональных и высотно-поясных границ растительных зон. Они характеризуются степенью комплексности в этом регионе растительных сообществ бореального (таежного), неморального, горно-тундрового, болотного и лугового типов. Высокая пестрота структуры растительного покрова является индикатором сниженного восстановительного потенциала экосистем. Особенно низким он является для горных структур Буреинского нагорья и Северного Сихотэ-Алиня, где выделяются крайне неустойчивые, неустойчивые и слабо устойчивые экосистемы.

Нарушение или полное сведение лесных сообществ на значительных площадях на горных экосистемах и побережье, как правило, оказывается не обеспеченным естественным возобновлением. В этом случае происходят либо смены лесообразующих пород, или, особенно на горных склонах выше 30°, развиваются существующие неопределенно долго различные промежуточные нелесные кустарниковые, лугово-болотные, пустошные и др. сообщества. Если при этом учесть низкую биологическую активность горно-таежных лесов (низкие показатели прироста), то становится ясно, что любое нарушение растительности в этих условиях будет сопровождаться развитием очень длительных процессов. Они могут быть настолько длительными, что их целесообразнее рассматривать не как восстановительные, а как процессы саморазвития - естественного развития нового направления.

Основным свойством растительного покрова является то, что он выступает в качестве важнейшего средообразующего и ландшафтностабилизирующего фактора в экосистемах.

Средообразующая роль растительного покрова особенно сказывается в горных районах Буреинского нагорья с повышенной сейсмикой и развитием мерзлоты. Здесь все растительные горно-таежные и горно-тундровые сообщества препятствуют развитию солифлюкции, ветровой и водной эрозии, термокарсту, снижают селевую и обвально-осыпную опасность, которая свойственна этому региону, расположенному в зоне островной мерзлоты, к тому же еще характеризующемуся высокой ударной силой муссонных ливней.

Средообразующее значение растительного покрова тесно связано с ландшафтными особенностями среды. В верхнем поясе гор на первое место выступает водорегулирующее значение горно-тундровых растительных сообществ тундр и подгольцовых редколесий; в долинах водотоков – водоохранная и водорегулирующая роль лесной растительности; на крутых горных склонах подгольцового пояса – водорегулирующая, противолавинная и противоселевая; в горах – противозрозионная; на плоских равнинах и в межгорных депрессиях с неглубоким залеганием мерзлоты – мерзлотостабилизирующая [7].

Исследование состояния растительного мира в условиях нарастающего воздействия антропогенных факторов – наиболее актуальная экологическая задача современности. Это связано с тем, что растительность – важнейший элемент стабилизации экосистем. Она обладает высокими информативными показателями оценки состояния климата, рельефа, почв, гидрологии и др. Анализ экологического состояния лесного комплекса приобретает все большую актуальность в связи с тем, что территория южного Приамурья в последующие десятилетия будет вовлечена в еще больший хозяйственный оборот. В связи с этим основное внимание должно уделяться экологическим функциям лесов, которые определяют устойчивость экосистем как на локальном, так и на региональном уровнях. Под устойчивостью понимается

способность природных систем восстанавливать нарушенные свойства и адаптироваться к изменяющимся условиям среды [1].

Невысокая плотность населения, низкая степень урбанизации и сельского хозяйства создают неверное впечатление о незначительности антропогенных воздействиях на природную среду Приамурья. На самом деле экосистемы этого региона существенно преобразованы и в ряде районов носят катастрофический характер. Примером может служить хр. Джаки-Унахта-Якбыяна, рубки и следующие за ними сильные пожары уничтожили лесную растительность и биологическое разнообразие.

Наибольшему риску подвергаются растительные формации, эдификаторные породы которых находятся на границах своих ареалов, как северных, так и южных.

В качестве модельной территории определена северная половина бассейнов рек Урми и Кур общей площадью 420 тыс. га. Это зона контакта бореальных и неморальных лесов двух крупнейших ботанико-географических областей Азии. Кроме того, здесь стыкуются Буреинский и Амуро-Уссурийский флористические районы. В одном контуре соседствуют виды растений с циркумполярными и юго-восточноазиатскими ареалами. Для оценки устойчивости формаций предложена многоуровневая система состояния эдификатора темнохвойной тайги – ели аянской. Для этого применялись интегральные показатели:

- эколого-биологические критерии вида (жизненная форма, структура ареала, неполночленность популяции, малые градиенты встречаемости, низкие возможности вегетативного и семенного размножения и др.);

- репрезентативность флористического состава в системе флористического района;

- уникальность сообщества, редкие виды (эндемы, реликты);

- наличие биоиндикаторов, их современное состояние;

- нарушенность коренной формации и ее восстановительный потенциал.

Эдификатор темнохвойных пород аянская ель в возрасте 150 лет (пробная площадь № 5, устье р. Ярап) при высоте 18 м и диаметре 23 см насчитывает 250-300 стволов деревьев и имеет продуктивный запас около 280 м³. В фитоценозе отмечены малые градиенты встречаемости спелых и перестойных экземпляров (150-200 лет), что свидетельствует о неудовлетворительных темпах роста ели. Так как на исследованной территории отсутствуют следы лесопромышленного освоения (пни, порубочные остатки), то росту и развитию ели не благоприятствуют современные природно-климатические условия. Возобновление и подрост неравномерный, сомкнутость 0,1-0,3, сильно угнетен. Фаутность высокая, в древесном ярусе крон она достигает 50%, в подросте – 10%. Неудовлетворительный ход роста экземпляров второго яруса из пихты белокорой, низкий процент перестойных представителей древостоя может свидетельствовать о неполночленности популяции и о сниженных возможностях семенного размножения. Это отмечают так же сибирские ученые. [4, 5].

Репрезентативность видового состава ельников верхнего и среднего течения рек Кура и Урми составляет от флоры Буреинского флористического района 43%, при общем числе сосудистых растений 598 видов, что на ½ меньше, чем на среднем и Северном Сихотэ-Алине [6]. По мере продвижения к верховьям Урми и по ее притокам Ярапу, Сенчуге, Берендже, Демкукану, а также по левым притокам р.Буреи (Гуджал и Гуджил). Биоразнообразие растений из Красной книги Хабаровского края снижается с 27 до 19 представителей [2]. Из состава фитоценоза выпадают виды семейства орхидных, розоцветных, касатиковых и др.

Зато в последние годы в ельниках обнаружен плейстоценовый реликт, находка которого расценивается как международное ботаническое событие. Это представитель сем. розоцветных – пентактина, описанный с гор Кум Ганг Сан (Северная Корея), японским исследователем Т.Nakai [8]. Его экология – типичного хионофила – свойственна участкам, где постоянно идет подток холодной влаги с водоразделов. История его происхождения связана с еловыми и кедровостланничными сообществами, формирующимися в эпоху плейстоцена, в период, когда обширные территории севера Азиатского материка, были скованы вечной мерзлотой [4, 5].

В настоящее время пихтово-еловые леса функционируют в условиях все более нарастающего изменения климата. Оно началось с плиоцена и продолжает усиливаться по

данным климатологов с каждым десятилетием [3]. Эти формации с прочными связями составляющих их элементов (подлеска, кустарникового и травяно-мохового ярусов), обладают слабыми компенсационными механизмами к внешним воздействиям, так как утрата даже одного или нескольких отражается на всей лесной системе и является причиной ее деградации. Устойчивое функционирование ельников в Сибири и на Дальнем Востоке обеспечивается за счет сезонной мерзлоты, во время оттаивания в первой половине вегетационного периода, доставляющей влагу корневым системам. Во второй половине лета увлажнение воздуха, лесной подстилки и почв осуществляется за счет прихода муссона. Выборочные и особенно сплошные рубки, на крутых склонах нарушают этот извечно сложившийся баланс, что приводит к частичному или полному уничтожению еловых лесов. Об этом свидетельствуют массовые факты усыхания эдификаторных пород ели и пихты и замена их сукцессионными сменами длительно производными светлохвойными формациями – лиственничниками с кедровым стлаником. Эти сообщества, являясь производными, устойчивы во времени, так как для их развития не требуется высокая влажность и глубокие почвы. Коренные леса не возвращаются к прежним сообществам из пихтово-еловых насаждений даже при снятии антропогенных нагрузок.

Таким образом, темнохвойным горным лесам, распространенным в левобережье Среднего Амура, грозит деградация. На неблагоприятные климатические условия накладываются лесопромышленные рубки, которые нарушают почвенно-тепловой режим, снижают обводненность территории и биологическое разнообразие, в том числе уникального реликта из рода *Pentactina*.

Предлагаемая оценка нарушенности экологических функций растительности основана на многоуровневой системе биоиндикаторов как видового, так и формационного составов. Она разрабатывалась в рамках исследований по темам НИР ДВО РАН «Динамика экосистем бассейна р.Амур под влиянием природных и антропогенных факторов», «Пространственная структура биологического разнообразия как основа разработки экологически устойчивого региона», а также проекта ДВО РАН «Комплексные исследования в бассейне р.Амур. Растительный покров, флора и биоразнообразие». Материалы апробированы в проекте общественной организации «Модельный лес «Гассинский», финансируемого Международной сетью модельных лесов.

Литература

1. Букс И.И. Ландшафтно-экологическая характеристика зоны БАМ и устойчивость природной среды // Вопросы географии. Новосибирск, 1977. Сб.105. С.81-98
2. Красная книга Хабаровского края. Редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды растений, грибов и животных. Министерство природных ресурсов Хабаровского края. ИВЭП ДВО РАН. Воронеж: ООО «Мир». 2019.
3. Новороцкий П.В. Изменение климата в бассейне Амура // Влияние климата на экосистемы бассейна р. Амур. М.: WWF России, 2006. С. 22-42.
4. Протопопов В.В. Средообразующая роль темнохвойного леса. Новосибирск: Наука, 1975. 326 с.
5. Снытко В.А., Коновалова Т.И. Устойчивость и антропогенная трансформация таежных геосистем юга Средней Сибири // Сибирский экологический журнал. 2005. №4. С. 651-661.
6. Шлотгауэр С.Д. Реликтовые черты лесной растительности национального парка «Ануйский» (Хабаровский край). Региональные проблемы, 2016 г. Т. 19, № 3. С.38-48.
7. Шлотгауэр С.Д. Экологическая роль растительного покрова в Приамурье. Факторы формирования качества воды на Нижнем Амуре. Владивосток: Дальнаука, 2008. С.43-80.
8. Nakai T. Notulae and Plantas Japoniae et Coreae. XIII // The Botanical Magazine. Vol. XXXI, № 361, 1912. P. 3-30.

НОВЫЕ ОСОБО ОХРАНЯЕМЫЕ ТЕРРИТОРИИ В ОХОТИИ

Шлотгауэр С.Д. saxifraga@ivep.as.khb.ru

ФГБУН ХФИЦ ДВО РАН Институт водных и экологических проблем, г.Хабаровск

Общественная организация «Хабаровский фонд диких животных» активизировала создание новых особо охраняемых природных территорий в Охотском и Аяно-Майском районах Хабаровского края. Это связано с расширением горнопромышленного освоения Приохотья. Утвержден комплексный природный заказник «Майский». Включены в план создания заказник «Учурский», памятники природы «Озерно-речная система оз.Нек» и прилегающая территория долины р.Охоты, а также система Уегинских озер.

Необходимость создания ООПТ в верхнем течении р.Охоты связана с обитанием недавно открытого нового вида из семейства лососевых – нейвы [1, 6]. Основным свойством растительного покрова сложной территории является стабилизирующий фактор в ландшафте. Растительный покров, являясь ключевым элементом в горных экосистемах выполняет водоохранную и противоэрозионную роль. При нарушении лесной и кустарниковой растительности в горах снижаются водорегулирующие, водоохранные и биостационарные функции.

Планируемые к утверждению памятники природы в верхнем течении р.Охоты представляют собой участки южного охотского макросклона горного узла Сунтар-Хаята, самого высокого массива в пределах одноименного хребта.

Отметки вершин к истокам р.Охота увеличиваются, по сравнению с окраинами хребта от 2000 до 2745 метров. Долина р.Охоты и ее притоков имеют характер узких трогов, вдоль бортов хорошо выражена боковая морена крупноглыбового состава. На водоразделах зарегистрировано, не считая многих снежников, свыше 70 ледников и ледничков различного размера, заполняющих седловины и сокращающими свои размеры в связи с динамикой климатических изменений [3].

Южная часть Охотско-Колымского нагорья, где находится оз.Нек, отмечается резкими формами рельефа: глубоко врезаемыми долинами с четко выраженными проявлениями солифлюкции, которая является наиболее активной формой движения на склонах и вместе с эрозией и делювиальным смывом относится к ведущим рельефообразующим процессам на современном уровне развития морфоструктур.

Морфоструктуры Охотско-Колымского нагорья представляют собой расчлененное пространство с высотами от 500 до 1800 м. над ур.м. Пространство истоков р.Охоты и окрестностей оз.Нек представлены сглаженными очертаниями водоразделов и склонов, что свидетельствует о нечетко выраженных следах древней ледниковой деятельности. Рельеф горных поднятий в бассейне верхнего течения р.Охоты, как и на Сунтар-Хаяте формировался в условиях поднятий, которые и обусловили развитие оледенений [3, 9].

Водораздел у оз.Нек сложен однотипными породами: гнейсами, гранитоидами, кристаллическими сланцами и др. Рыхлые породы представлены аллювием древней и современной гидросети, преимущественно грубообломочными ледниковыми и аллювиальными образованиями [7, 9].

В районе Уегинских озер площади высокогорий незначительны. Куполообразные высоты: Академическая (1408 м над ур.м.) вблизи оз.Перевал и в истоках р.Ханькан (1238 м над ур.м.) сложены однотипными породами: гранитоидами, гнейсами, кристаллическими сланцами и др. Рыхлые породы в бассейнах озер Уега, Перевал, Сатагай представлены остатками мел-палеогеновых кор выветривания, аллювием древней и современной гидросети, преимущественно грубообломочными ледниковыми и аллювиальными образованиями [7]. Аллювиальные отложения, крутизна юго-восточных отрогов хр. Сунтар-Хаята

благоприятствуют хорошему дренажу равнинной части озерной системы, что замедляет процессы болотообразования. Низкогорные пространства расчленяются водотоками бассейна р.Охоты, имеют резкие формы рельефа, отвесные водоразделы. Следы древнего оледенения подчеркнуты современными эрозионными процессами [3].

Система Уегинских озер состоит из семи соединяющихся между собой водоемов. Расположение их один над другим способствует хорошему водосбору со всей системы водотоков, длина которых достигает 9 км. Озера находятся на высоте 400 м н.ур.м. и удалены от побережья Охотского моря на 210 км. Сообщение с водной системой озер достигается через р.Дюшинджа [6]. В периоды высокой воды оз.Уега через множество небольших озер соединяется с протоками правобережья р.Охоты, длина последней не превышает 300 км. В истоках она течет в узкой долине, в среднем течении, напротив Уегинских озер, разбивается на рукава, разделенные песчано-галечниковыми островами. Реки, текущие в Охотское море (Охота, Ханькан, Дюшинджа и др.) получают питание от снеговых, дождевых и грунтовых вод. В годы со значительными снегозапасами доля снегового питания повышается до 70%. В средние по водности годы дождевое питание преобладает над снеговым.

Самым крупным в озерной системе является Уегинское озеро длиной 5,5 км, шириной 1,5 км при глубине 16 м. По данным В.В. Волобуева и др. [1] оно относится к пойменному типу. Рельеф дна разнообразен: в северной и южной частях его есть впадины до 28 м, в прибрежных зонах глубина незначительна. В литоральной зоне грунт каменистый или галечный и песчано-галечный [1, 6].

Климат озерной системы Уега резко континентальный (коэффициент континентальности колеблется от 60 до 80 единиц). Средняя температура января выше -32°C , минимальная достигает -49°C . Дискомфорт погодных условий увеличивается при сильных северных ветрах, нередко достигающих 30-40 м в секунду. Самое теплое время июль-август, когда максимальная температура воздуха может достичь $+37^{\circ}\text{C}$. Самое холодное время декабрь-январь. Замерзают озера в начале октября, вскрываются в середине-конце июня. Толщина льда составляет 120-180 (в среднем 150 см) [7].

Природные условия региона способствуют формированию специфической флоры и растительности, в свою очередь являющейся регулятором среды, смягчая суровые климатические факторы, создавая кормовую базу узкоареального эндемичного вида – нейвы (*Oncorhynchus nerka*) [1].

Первое посещение Приохотья относится к началу XVII века. Эти маршруты проходили по Охотскому побережью из Якутского острога к поселениям Охотск и Аян. С созданием Удского острога в 1661 году он стал служить отправной базой для первых исследователей. Одним из первых ученых, который в 1806 г. экскурсировал на побережье Охотского моря был И.Редовский, который по пути в Охотск погиб.

В 1953 году экспедиция Лесопроекта (г.Ленинград) провела лесотаксационное обследование Охотского района. В 1955-1958 гг. Нижнеамурская комплексная землеустроительная экспедиция Министерства сельского хозяйства обследовала южный район Охотии. Отчет ботаника Е.А. Широковской хранился в фондах Дальгирозема (Хабаровск). В 1958 году В.А. Розенберг [8] в бассейне р.Охоты изучал возобновление в лиственных лесах.

В 60-ые годы в связи с Программой III Международного геофизического года началось комплексное исследование горного узла Сунтар-Хаята, точнее, водораздела Алдана и Индигирки. Хотя работы не проводились на охотском макросклоне, были выявлены общие закономерности состава и строения растительного покрова субарктической части Северо-востока Азии, специфические и фитоценоотические взаимосвязи экосистем северная тайга – Арктика - Берингия [11]. Эти исследования подготовили базу для создания капитальной работы «Север Дальнего Востока», в которой растительность была охарактеризована [7].

К сожалению, интересующий нас участок охотского макросклона не был упомянут, и растительность системы озер среднего течения р.Охоты в публикациях не отражена.

По геоботаническому районированию бассейн верхнего течения р.Охоты вместе с озерами относится к Охотскому округу Восточносибирской светлохвойно-лесной подобласти

Евразийской хвойно-лесной области [2]. В районе выражены три высотных пояса: лесной (горно-таежный), подгольцовый и горно-тундровый. В горно-таежный пояс входит растительность долин, низкогорий, среднегорий и вершин до 1100 м над ур.м. На северных склонах граница леса на 150-200 метров ниже. Обилие глыбовых осыпей, особенно на южных склонах, нарушает эту закономерность. Здесь лес достигает 700-800 метрового уровня, спускаясь до тавельгов долин. В подветренных склонах по тальвегам ручьев лес поднимается выше средней границы и достигает до 1200-1300 м.

Горно-таежный (лесной) пояс представлен двумя нечетко выраженными подпоясами. В нижнем течении рек преобладает припойменная эвтрофная растительность (травяные ивняки с господством ив джугджурской (*Salix dshugdshurica*), удской (*Salix udensis*), тарайкинской (*S. taraiensis*); чозениево-тополевые леса с чозенией и тополем душистым (*Chosenia arbutifolia*, *Populus suaveolens*). В подлеске большая роль принадлежит ольховнику (*Alnus fruticosa*) и кедровому стланнику (*Pinus pumila*), выполняющим с ивовыми формациями берегозащитную функцию. Высокую роль играют задернители субстрата галечниково-песчаных кос и отмелей – вейники Лангсдорфа и пурпурный (*Calamagrostis langsdorffii*, *C. purpurea*). По прогреваемым мелководьям оз. Уэга формируются группировки прибрежно-водной растительности, заросли которой выполняют защитные и пищевые функции для молоди нерестовых рыб. Их формируют горцы (*Persicaria hydropiper*, *Bistorta ellipticum*, *B. vivipara*), осоки (*Carex laxa*, *C. vesicata*, *C. limosa*), болотница (*Eleocharis ovata*), глицерия (*Glyceria lithuanica*), камыш Табернемонтана (*Scirpus tabernaemontanii*) и др.

Из водных растений обычны стрелолист (*Sagittaria natans*), частуха (*Alisma orientale*), ряска тройчатая (*Lemna trisulca*), рдест плавающий (*Potamogeton natans*), триостенник болотный (*Triglochin palustris*) и др.

На прирусловых валах и небольших микроповышениях эвтрофный ряд растительности сменяется лиственничником разнотравно-осоковым с березой плосколистной (*Betula platyphylla*). Он формируется на маломощных аллювиальных почвах, характеризуется высокой сомкнутостью (0,5-0,6), перемежаясь с зарослями кедрового стланника (*Pinus pumila*), березкой Миддендорфа (*Betula middendorffii*) и ольховника. Занимая небольшие площади вокруг озер и реки, они образуют водоохранные полосы, препятствуя эрозии и размыву береговых террас, а также выполняя водорегулирующую функцию небольших водотоков, текущих со склонов окружающих высоток, имеющих превышения над поймой озер (440 м над ур.м., 578 м над ур.м., 669 м над ур.м и др.).

Подпояс северотаежной растительности хорошо выражен в долинах рек (истоки р. Ханькан) в междуречье одноименной реки и Охоты. Эдификатором является лиственница Каяндера (*Larix cajanderii*). Пойменные леса высокополотны, имеют сомкнутость 0,5-0,7, хорошо развитые кроны, достигая 15-17 м высоты. В пологе обычны кустарники: кедровый стланник, ольховник, рододендрон золотистый и мелколистный (*Rhododendron aureum*, *R. parvifolium*); бореальные кустарнички и травы: брусника (*Vaccinium vitis-idaea*), кислица (*Oxalis acetosella*), седмичник (*Trientalis europaea*) и др. Нижние части склонов г. Академической и безымянной высоты 1037 м над ур.м., подверженные ветрам, одеты редкостойными лиственничниками, низкой сомкнутости (0,1-0,2), с сильной фаутистностью едва достигающими 3-5 м высоты. В покрове преобладают кустарники, кустарнички, лишайники и мхи гипоарктического состава: ива тощая (*Salix saxatilis*), багульник (*Ledum palustre*), шикша (*Empetrum sibiricum*), цетрария (*Cetraria islandica*), кладония оленья (*Cladonia rangiferina*), аулакомниум (*Aulacomnium palustre*) и др.

С высоты 1100-1300 м простирается подгольцовый пояс растительности. На подветренных юго-восточных склонах в состав лиственничного древостоя в качестве единичных экземпляров примешивается береза шерстистая (*Betula lanata*). В пологе обычны кедровый стланник, ольховник, в нижнем ярусе – кустарничково-лишайниковый покров. Склоны северной и северо-западной экспозиций еще более обеднены растительными группировками, что объясняется грубым механическим составом почвообразующих пород [7, 8, 11]. Возобновление древесных пород низкое и не обеспечивает восстановление лесов.

Гольцовый и гольцово-тундровый пояс в среднегорном рельефе простирается от верхней границы редколесий лиственницы и характеризуется крайне разреженным покровом из кустарничков (*Empetrum subholarcticum*), кустарников (*Betula exilis*), имеющих стелющуюся форму. Травы не образуют сомкнутого покрова, на выровненных плакорных элементах рельефа, где кора выветривания имеет каменисто-щебнистый или мелкоземистый характер, отмечены дицентра (*Dicentra peregrina*), мятлик сизый (*Poa glauca*), осока ложножесткая (*Carex rigidoides*). Среди них нередко виды растений арктического происхождения: ива полярная (*Salix polaris*), полынь (*Artemisia arctica*), мытник печальный (*Pedicularis tristis*) и др. [10].

Уровень видового разнообразия сосудистых и споровых растений верхнего течения р.Охоты оценивается в 350 видов из 148 родов и 73 семейств, что составляет 7% от флоры Хабаровского края. Общее число редких и исчезающих видов растений, грибов, лишайников и мхов, включенных в список охраняемых объектов на территории региона и Российской Федерации, составляет 25 таксонов [4, 5]. Из них на международном уровне (Красный лист МСОП, Конвенция СИТЕС) подлежат охране 3 вида: *Calypso bulbosa*, *Cypripedium calceolus*, *Rhodiola rosea*. В региональную Красную книгу включены редкие эндемичные виды северо-востока Азии: *Oxytropis evenorum*, *O.ochotensis*, *O.tilingii*, *Aconitum ajanensis*, *A.ochotensis*, *Delphinium kolymentense*, *Crepis nana* и др.

Территория создающихся ООПТ является резерватами малонарушенных экосистем бассейна р.Охоты. Лесистость памятников природы составляет 47%, что обеспечивает устойчивое состояние территории.

Литература

1. Волобуев В.В., Горохов М.Н., Голованов И.С. и др. Нерка *Oncorhynchus Nerka* северо-восточной части материкового побережья Охотского моря. Вестник Камчатки. ТГУ. № 49.06. 2019. С.49-58.
2. Колесников Б.П. Растительность // Дальний Восток. М.: Из-во АН СССР, 1961. С.159-182.
3. Корейша М.М. Современное оледенение хребта Сунтар-Хаята // Гляциология, 1963, № 11. С.28-45.
4. Красная книга Российской Федерации (растения, грибы). М.: Тов-во научн. Изд. КМК, 2008. 855 с.
5. Красная книга Хабаровского края. Министерство природных ресурсов Хабаровского края, Институт водных и экологических проблем ДВО РАН. Воронеж: ООО «Мир» 604 с.
6. Куликов А.Н. Они нуждаются в защите. Нейва. Хабаровск: ООО «Медиа-Мост», 2020. 15 с.
7. Реутт А.Т. Растительность // Север Дальнего Востока. Природные условия и естественные ресурсы СССР. М.: Изд-во «Наука», 1970. С 257-300.
8. Розенберг В.А. О возобновлении в лиственничных лесах Охотского района. «Естественное возобновление лесов Дальнего Востока». Долинск. 1958.С. 21-31.
9. Шило Н.А. Рельеф и геологическое строение // Север Дальнего Востока. Природные условия и естественные ресурсы СССР. М.: Из-во «Наука», 1970. С. 21-72.
10. Шлоттгауэр С.Д., Мирзеханова З.Г. Материалы к флоре сосудистых растений северной части Юдомо-Майского нагорья. Ботанический журнал. 1982. № 2. С.45-49.
11. Юрцев Б.А. Флора Сунтар-Хаята. Л.: «Наука», 1968. 235 с.

СОРБЦИЯ ЛАНТАНА МИКРОСКОПИЧЕСКИМИ ГРИБАМИ

Л.П. Шумилова, *shumilova.85@mail.ru*, В.И. Радомская *radomskaya@ascnet.ru*

Институт геологии и природопользования ДВО РАН, Благовещенск

На сегодняшний день редкоземельные элементы (РЗЭ) находят применение в радиоэлектронике, приборостроении, машиностроении, химической и атомной промышленности. Добыча РЗЭ и промышленное использование ведут к увеличению их рассеивания в окружающей среде, что повышает вероятность загрязнения наземной и водной сред этими элементами [1].

Биосорбция ионов РЗЭ является перспективным направлением в современных исследованиях, данный способ извлечения считается экономичным и экологически безопасным [2, 3]. В качестве эффективного биосорбента предлагают использовать биомассу микроскопических грибов [4, 5]. За счет значительного содержания хитина и других полисахаридов клеточная стенка грибов обладает высокой сорбционной активностью [6]. Полисахариды имеют в своем составе различные функциональные группы, донорные атомы (сайты связывания) которых связывают ионы металлов [7], в том числе и редкоземельных.

Лантан (La) – один из 17 редкоземельных элементов, возглавляет семейство лантаноидов. РЗЭ имеют схожие физические и химические свойства, поэтому на примере поведения La в водных растворах возможно получить объективную информацию об общих закономерностях взаимодействия элементов группы РЗЭ с биосорбентами. Для моделирования процесса сорбции РЗЭ в статических условиях необходимо определение времени установления адсорбционного равновесия в системе биомасса микроскопических грибов – водный раствор La. С этой целью нами изучена динамика адсорбции лантана биомассой микроскопических грибов в зависимости от pH раствора, времени взаимодействия и его концентрации в растворе.

В работе использовали биомассу микроскопических грибов *Penicillium canescens* Sopp, вид выделен с Сергеевского бурогоугольного месторождения (Амурская обл., Благовещенский район), и *Talaromyces funiculosus* (Thom) Samson, N. Yilmaz, Frisvad et Seifert, вид выделен из техногенных грунтов Албынского месторождения (Амурская обл., Селемджинский район). Данные виды встречаются повсеместно в почвах Амурской области, кроме того, в предварительных экспериментах по извлечению тяжелых металлов они показывали высокую сорбционную активность [8, 9], что и обусловило их выбор для экспериментов. Нарращивание биомассы грибов проводили в жидкой среде Чапека. На 14 сутки биомассу фильтровали, промывали дистиллированной водой.

Рабочие растворы готовили растворением в дистиллированной воде соли $\text{La}(\text{NO}_3)_3$ с концентрациями 1, 3 и 5 ммоль/л. Кислотность исходных водных растворов нитрата лантана была в одном интервале: 1 ммоль/л – 5,72; 3 ммоль/л – 5,56; 5 ммоль/л – 5,68. Параллельно, для определения зависимости сорбции лантана от кислотности раствора, готовили растворы с разными pH: 1,3, 3,1 и 5,72. Для экспериментов к 20 мл раствора La добавляли по 20 мг сухой биомассы грибов, растворы периодически встряхивали. Через установленное время (1, 4, 6, 8, 24 и 48 ч) отфильтрованные растворы центрифугировали при скорости 5000 оборотов в минуту в течение 15 мин.

Все эксперименты были выполнены в трех параллелях. Определение концентрации лантана выполнено методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой на спектрометре *Agilent 7500c* (*Agilent Techn.*, США).

Сорбционную емкость (С, мг/г) рассчитывали по формуле: $C = (C_{\text{исх.}} - C_i) \cdot V/m$, где $C_{\text{исх.}}$ – концентрация металлов в исходном растворе; C_i – концентрация металлов после сорбции; V – объем раствора, мл; m – масса сорбента (микромицета) в пересчете на абсолютно сухой вес, мг.

На рисунке 1 показана сорбция лантана из водного раствора $\text{La}(\text{NO}_3)_3$ биомассой *P. canescens* по времени. Время достижения равновесия при концентрации 1 ммоль/л составляет 24 часа. После 24 часов взаимодействия концентрация лантана в растворе достигает стационарного состояния и далее начинает незначительно снижаться с 2,67 до 2,25 мг/г.

Кривые для концентраций 3 и 5 ммоль/л практически повторяют друг друга, наблюдается плавное снижение в диапазоне 2,54-2,22 мг/г и 3,61-3,13 мг/г соответственно. Уменьшающаяся сорбционная емкость означает постепенное насыщение поверхности грибной клеточной стенки адсорбированным лантаном. Скорость установления сорбционного равновесия уменьшается до 7 часов.

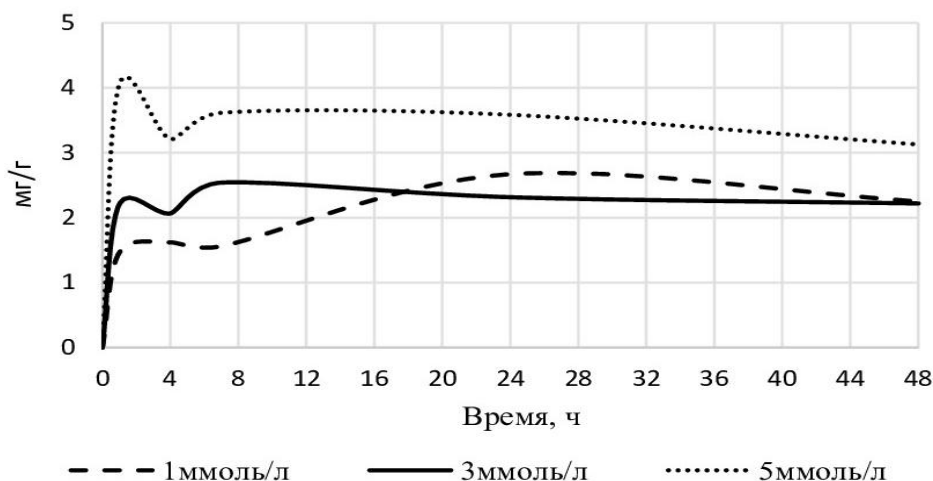


Рис. 1. Сорбционная емкость *P. canescens*.

На рисунке 2 представлены кривые зависимости сорбции La^{3+} из раствора биомассой микромицета другого рода – *T. funiculosus* от времени. При концентрации раствора 1 ммоль/л равновесие наступает также за 24 часа. После достижения равновесия при заданных условиях содержание лантана в растворе снижается с 3,07 мг/л до 1,55.

Для концентраций 3 и 5 ммоль/л установление равновесия наступает при экспозиции 7 часов. По истечении 48 часов, после насыщения, для данных концентраций адсорбция замедляется с 2,24 до 2,07 мг/л и с 5,3 до 2,67 мг/л для соответствующих концентраций.

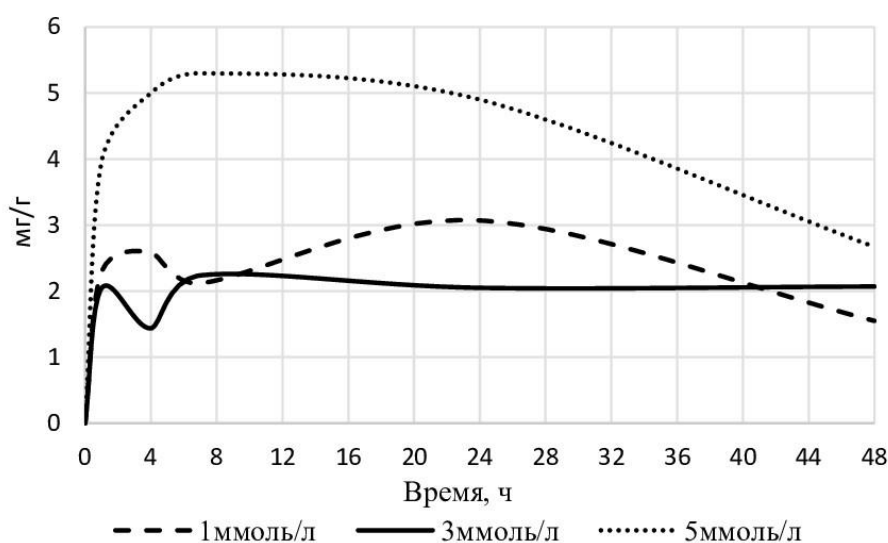


Рис. 2. Сорбционная емкость *T. funiculosus*.

Максимальная сорбционная емкость для *P. canescens*, рассчитанная из количества адсорбированного биомассой лантана в эксперименте, составила 4,05 мг/г при концентрации 5 ммоль/л. Биомассой *T. funiculosus* при наибольшей используемой концентрации лантана в растворе (5 ммоль/л) максимально было адсорбировано 5,15 мг/г. Очевидно, что при более высокой концентрации биосорбция также будет более высокой относительно более низких концентраций.

Таким образом, изучение динамики адсорбции лантана из растворов по времени показало, что в первые часы сорбционная емкость выше, поскольку для адсорбата предоставлено больше свободной адсорбционной поверхности. Независимо от вида выбранного микромицета в качестве адсорбента, равновесие в системе грибная биомасса – раствор La^{3+} при концентрации раствора 1 ммоль/л наступает в течение 24 часа. При более высокой концентрации La^{3+} в растворах (3 и 5 ммоль/л) времени для установления адсорбционного равновесия требуется меньше – 7 часов.

Важным показателем, влияющим на подвижность и поглощение металлов из раствора, является его кислотность. На рисунке 3 показана адсорбция лантана биомассой грибов в зависимости от pH раствора по времени при исходной концентрации La^{3+} – 1 ммоль/л. В кислых условиях (pH 1,3) наблюдается очень слабая адсорбция лантана биомассой грибов, особенно в первые часы – 0,05-0,28 мг/г. После 24 часов сорбция незначительно возрастает – до 0,27-0,81 мг La^{3+} /г.

При pH 3,1 отмечена наилучшая адсорбция лантана из раствора – 2,25-4,05 мг/г. При уменьшении кислотности до 5,72 адсорбционное поведение лантана изменяется и его адсорбция несколько снижается до 1,46-3,07 мг/г. Стоит отметить, что *T. funiculosus* показал более высокие сорбционные свойства по сравнению с *P. canescens* на протяжении всех 48 часов экспозиции (рис. 3).

Таким образом, при среднекислой pH растворов адсорбция идет интенсивнее. Оптимальное значение pH раствора для максимальной сорбции лантана в эксперименте составило 3,1. *T. funiculosus* показал наилучшую сорбцию лантана.

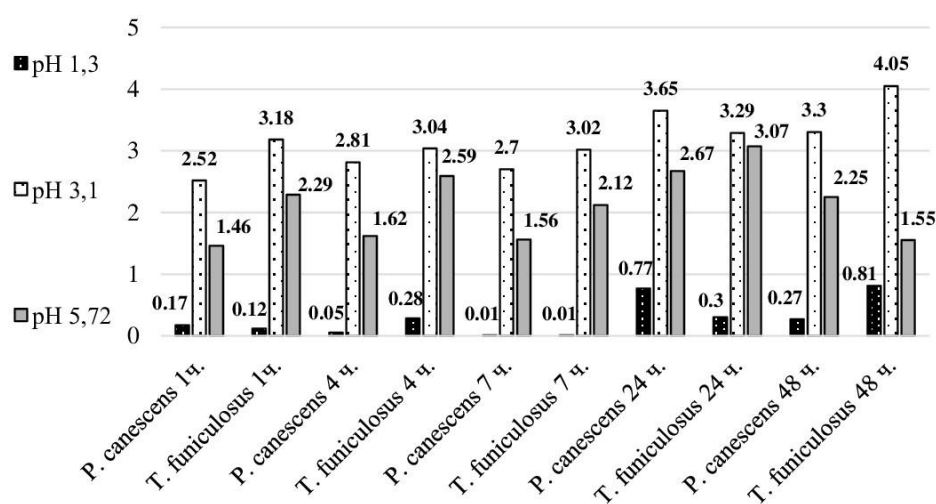


Рис. 3. Сорбция лантана биомассой грибов в зависимости от pH раствора, мг/г.

По результатам предварительных исследований выявлено, что время установления равновесия находится в интервале 7-24 часа. При невысокой концентрации лантана в растворе адсорбционное равновесие наступает за 24 часа, при более высоких исходных концентрациях La^{3+} скорость установления равновесия достигается значительно быстрее – за 7 часов. Для дальнейших исследований оптимальным временем установления адсорбционного равновесия можно считать 24 часа.

С увеличением концентрации лантана в растворах и pH возрастает его адсорбция грибной биомассой. Эффективнее адсорбция лантана протекает в среднекислых растворах с pH 3,1-5,72. Максимальная сорбция отмечена при pH 3,1 грибной биомассой *Talaromyces funiculosus*.

Литература

1. Balaram V. Rare earth elements: A review of applications, occurrence, exploration, analysis, recycling, and environmental impact // *Geoscience Frontiers*. 2019. Vol. 10. No. 4. P. 1285-1303. <http://DOI:10.1016/j.gsf.2018.12.005>.
2. Andres Y., Texier A.C., Le Cloirec P. Rare earth elements removal by microbial biosorption: A review // *Environ. Technol.* 2003. Vol. 24. P. 1367-1375. <http://DOI:10.1080/09593330309385681>.
3. Эрлих Г.В., Лисичкин Г.В. Сорбция в химии редкоземельных элементов // *Журнал общей химии*. 2017. Е. 87. № 6. С. 1001-1027.
4. Tsuruta T. Accumulation of rare earth elements in various microorganisms // *Journal of rare earths*. 2007. № 25. P. 526-532.
5. Das N., Das D. Recovery of rare earth metals through biosorption: An overview // *Journal of rare earths*. 2013. Vol. 31. No. 10. P. 933-943. [http://DOI:10.1016/S1002-0721\(12\)60382-2](http://DOI:10.1016/S1002-0721(12)60382-2).
6. Fomina M., Gadd G. M., Biosorption: current perspectives on concept, definition and application // *Bioresource Technology*. 2013. No. 160. P. 3-14.
7. Скугорева С.Г., Кантор Г.Я., Домрачева Л.И. Биосорбция тяжелых металлов микромицетами: особенности процесса, механизмы, кинетика // *Теоретическая и прикладная экология*. 2019. № 2. С. 14-31.
8. Шумилова Л.П., Радомская В.И., Павлова Л.М. Природные сорбционные свойства мицелиальных грибов, выделенных из разных мест обитания // *Вопросы геологии и комплексного освоения природных ресурсов Восточной Азии: IV Всероссийская научная конференция, 3-6 октября 2016 г., Благовещенск: [Сб. докл.]*. Благовещенск: ИГиП ДВО РАН, 2016. Т. 2. С. 49-52.
9. Шумилова Л.П., Павлова Л.М. Видовое разнообразие культивируемых микромицетов в буро-таежных почвах северо-востока Амурской области // *Микология и фитопатология*. 2020. Т. 54. № 2. С. 124-133.

ФРАКЦИОННЫЙ СОСТАВ СОЕДИНЕНИЙ ЛАНТАНОИДОВ В МИОЦЕНОВЫХ БУРЫХ УГЛЯХ СЕРГЕЕВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (АМУРСКАЯ ОБЛАСТЬ)Л.П. Шумилова, *shumilova.85@mail.ru*, В.И. Радомская *radomskaya@ascnet.ru*

Институт геологии и природопользования ДВО РАН, Благовещенск

Редкоземельные элементы – это 15 лантаноидов от лантана до лютеция, а также скандий и иттрий. Для них характерны похожие химические свойства за счет схожей структуры внешних электронных оболочек. РЗЭ широко распространены в природе, их распространенность в земной коре выше, чем у большинства редких металлов. Общий кларк РЗЭ 168 г/т, это больше, чем у Pb, Sn, Mo, Cu, Zn [1]. Среднее содержание в земной коре колеблется от 66 г/т для Ce, 40 г/т для Nd, 35 г/т для La до 0,5 г/т у Tm и $\leq 0,1$ г/т для Lu. Тулий и лютеций – два наименее распространенных РЗЭ, но каждый из них имеет среднее содержание в коре, которое почти в 200 раз превышает содержание золота. Элементы с четными атомными номерами более распространены, чем соседние элементы с нечетными номерами.

РЗЭ находят широкое применение в современных технологиях, особенно в оружейной и стекольной промышленности (церий), в сталелитейной (церий), в химической – для производства рентгеновских пленок и катализаторов (лантан), в электронике (гадолиний, эрбий, европий), а также в производстве возобновляемых источников энергии и многих других областях. В ближайшее время увеличится потребность в 26 раз двух редких элементов – диспрозия и неодима, за счет перехода на ветряные и солнечные источники энергии и электромобили [2].

Хотя РЗЭ относительно распространены в земной коре, они не часто встречаются в концентрированных и экономически пригодных для использования формах. Собственных минералов РЗЭ известно около 65. По химической природе минералы РЗЭ представлены главным образом фосфатами, фторидами или фтор-карбонатами, силикатами и силикотитанатами, ниоботанталатами, титанониобатами. Наибольшее промышленное значение имеют монацит $(Ce, La, Nd, Th)[PO_4]$, бастнезит $(Ce, La, Y)CO_3F$, паризит $Ca(Ce, La)_2(CO_3)_3F_2$, лопарит $(Na, Ce, Ca, Sr, Th)(Ti, Nb, Fe)O_3$, эвксенит $(Y, Ca, Ce, U, Th)(Nb, Ta, Ti)_2O_6$ и др. [3, 4].

Ведущим производителем редкоземельных элементов является Китай, который обеспечивает более 93% мировой потребности в редкоземельных элементах. За ним по количеству поставляемых РЗЭ следуют Бирма, Австралия, США, Россия, Индия [5]. В последние годы, в связи с высокими ценами на РЗЭ на международном рынке, идет поиск новых потенциальных источников РЗЭ, среди которых угли считаются перспективным для решения этого вопроса материалом. Для разработки эффективных технологий извлечения РЗЭ из углей необходимы знания о формах нахождения РЗЭ. Формы локализации РЗЭ в углях до настоящего времени изучены недостаточно. К слабо исследованным в отношении РЗЭ относятся угольные залежи Дальнего Востока, в частности, миоценовые бурые угли. Целью данной работы было определение форм нахождения и особенностей локализации РЗЭ в миоценовых бурых углях Сергеевского месторождения (Приамурье).

Сергеевское буроугольное месторождение расположено в 60 км от Благовещенска в юго-западной части Зейско-Буреинского осадочного бассейна и приурочено к северо-западному борту одноименного прогиба [6]. Для исследования была использована объединенная проба бурого угля, полученная из 8 бороздовых проб, отобранных равномерно из угольного пласта мощностью 4,5 м на глубине 2 м от кровли.

РЗЭ в углях встречаются в форме карбонатов, фосфатов, силикатов, сульфатов, могут быть адсорбированы на поверхности минералов или образовывать соединения с органическим веществом углей. Для определения фракционного состава соединений элементов используют

метод химической экстракции. Он широко применяется для определения форм элементов в почвах, донных отложениях и т.д. [7, 8, 9, 10].

Для определения форм нахождения РЗЭ в углях Сергеевского месторождения были проведены предварительные эксперименты с использованием модифицированной схемы Тессьера [8], которая была опробована в работах [11, 12]. Согласно данной схеме было определено 5 форм соединений РЗЭ: I – водорастворимая фракция; II – фракция, содержащая непрочно сорбированные ионы, так называемые обменные формы; III – фракция РЗЭ, связанная с аморфными оксидами и гидроксидами железа и марганца; IV – фракция РЗЭ, связанных с органическим веществом; V – остаточная фракция, содержащая РЗЭ, прочно закрепленные в кристаллических решетках минералов.

Для определения водорастворимой фракции уголь и дистиллированную воду в соотношении 1:10 периодически встряхивали в течение 18 часов. Ионообменные формы элементов обычно определяют с помощью катионов с низкой энергией гидратации, таких как ион аммония. Ионообменную фракцию выделяли экстрагированием ацетатно-аммонийным буферным раствором с pH 4,8 в течение 18 часов при комнатной температуре. В эту фракцию входят элементы, связанные с углем в виде ионообменных катионов. Твердый остаток, полученный после экстракции ацетатно-аммонийным буфером, обрабатывали раствором 0,04 М хлорида гидроксиламмония в 25% уксусной кислоте при 96°C в течение 8 часов. Такая процедура позволяет количественно определить долю РЗЭ, связанную с аморфными и кристаллическими оксидами железа, марганца и церия. Для высвобождения элементов, связанных с органической матрицей, применяют окислители. Эту фракцию выделяли в течение 2 часов при температуре 85°C с помощью 30% перекиси водорода, подкисленной азотной кислотой до pH 2.

После каждой стадии экстракции твердый остаток отделяли фильтрованием, промывали дистиллированной водой, высушивали до воздушно-сухого состояния при комнатной температуре и использовали на следующем этапе экстракции. В результате чего, из одной навески извлекали водорастворимые, ионообменные формы, фракции, связанные с аморфными оксидами и гидроксидами железа и марганца и связанные с органическим веществом, а также получали остаточную фракцию. Содержание РЗЭ в остаточной фракции рассчитывали по разности между валовым содержанием и суммой других выделенных фракций.

Дополнительно проводили одностадийную экстракцию угля и угольной золы 1М HCl при комнатной температуре при различном времени контакта: 0,25; 24; 48 часов, отношении Т:Ж=1:10 и периодическом перемешивании.

Для получения золы уголь прокаливали в муфельной печи, повышая температуру через каждые 0,5 часа на 50°C до 600°C. По достижении заданной температуры образец выдерживали 2 часа, после чего температуру в муфельной печи снижали до комнатной путем естественного охлаждения в течение 12 часов.

Элементный состав твердых проб и фильтратов определяли в сертификационном испытательном центре Института проблем технологии микроэлектроники и особо чистых материалов РАН масс-спектральным (X-7, Thermo Elemental, США) и атомно-эмиссионным (ICAP-61, Thermo Jarrell Ash, США) с индуктивно связанной плазмой методами анализа. При расчетах, если концентрация элементов была меньше предела обнаружения, использовали значения, равные половине предела обнаружения [13].

В таблице 1 представлено содержание РЗЭ во фракциях угля Сергеевского месторождения, определенных по модифицированной схеме Тессьера [8]. Существует опасность адсорбции экстрагированных в раствор РЗЭ поверхностью минеральных частиц, например, каолинитом. На стадии выщелачивания ацетат-аммонийным буфером повторная адсорбция маловероятна, так как значительное количество катионов и анионов (NH_4^+ и CH_3COO^-), присутствующих в растворе, конкурируют лишь со следовыми количествами РЗЭ за сорбцию на поверхностных участках частиц угля. В IV стадии используются кислотные условия, и минеральные частицы положительно заряжены, поэтому повторная адсорбция предотвращается за счет электростатического отталкивания. Единственная стадия, где может

произойти повторная адсорбция – это III стадия экстракции. Среди минеральных частиц, присутствующих в угле наиболее распространен каолинит, который имеет большую удельную поверхность и, следовательно, самый высокий потенциал для адсорбции заряженных РЗЭ в растворе. С другой стороны, наличие в экстрагенте 25% уксусной кислоты может приводить к ее взаимодействию с гуминовыми кислотами с выделением лантаноидов по реакции обмена.

Таблица 1 – Локализация РЗЭ в угле Сергеевского месторождения

Элемент	Валовое содержание, мг/кг	Содержание форм, %				
		I	II	III	IV	V
La	17	0,041	0,35	12,35	50	37,65
Ce	36,3	0,033	0,99	11,57	46,83	41,6
Pr	3,7	0,27	0,78	2,70	56,76	40,54
Nd	14,2	0,054	1,36	6,38	54,23	38,03
Sm	2,8	0,040	1,65	9,06	56,43	32,86
Eu	0,57	0,140	1,92	5,10	57,89	35,09
Gd	2,5	0,047	2,12	9,88	59,6	28,4
Tb	0,3	0,043	1,53	1,80	70	26,67
Dy	2,1	0,049	1,61	3,15	66,19	29,05
Ho	0,33	0,057	1,30	0,52	68,79	29,39
Er	1,1	0,057	1,48	7,61	59,09	31,82
Tm	0,13	0,058	1,0	2,92	68,62	28,46
Yb	1,1	0,073	1,04	8,96	60,91	29,09
Lu	0,12	0,065	1,33	4,67	64,67	43,33

Было установлено, что лантаноиды практически не экстрагируются водой и слабо – ацетатом аммония, суммарная степень извлечения которыми (I и II фракции) составляет всего 1-2%. В III фракцию извлекается от 0,5 до 12% РЗЭ. Значительная часть лантаноидов в исходном угле присутствует в органической форме (табл. 1). Это указывает на определенное сродство РЗЭ с гуминовыми кислотами, вероятно, за счет образования комплексов с водородсодержащими функциональными группами. Однако следует отметить, что использование перекиси водорода в качестве окислителя не очень эффективно для разрушения органической матрицы угля. На это указывает довольно высокая доля лантаноидов в остаточной фракции, хотя содержание неорганического остатка в исходном угле около 22%.

На основании определения форм РЗЭ можно заключить, что в миоценовых бурых углях Сергеевского месторождения основная часть РЗЭ связана с гуминовыми кислотами, которые являются концентраторами РЗЭ. РЗЭ образуют с гуминовыми кислотами либо комплексы с функциональными группами, либо соли, которые хорошо растворимы в кислой среде. Для оценки извлечения лантаноидов было проведено дополнительное выщелачивание РЗЭ из исследуемого угля разбавленной соляной кислотой при разном времени контакта. Результаты экстракции ясно демонстрируют, что большая часть РЗЭ в бурых углях вымывается разбавленной HCl. За 15 минут в раствор переходило от 61 до 94 % РЗЭ (рис.1).

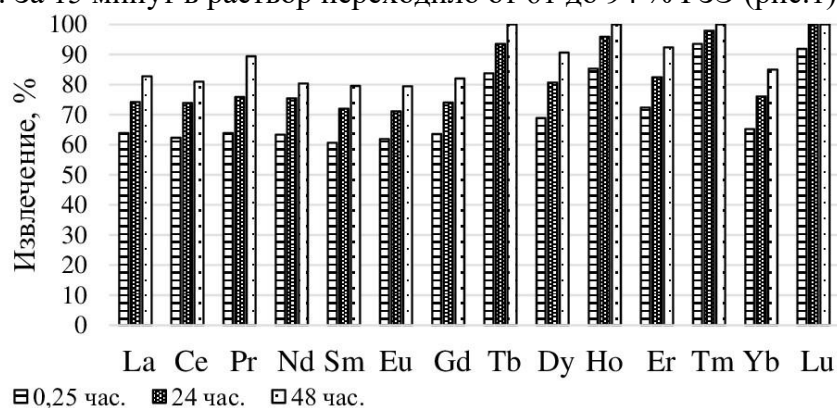


Рис. 1. Извлечение лантаноидов в зависимости от времени контакта угля с 1М HCl (увеличение время контакта слева направо).

Это еще раз подтверждает преимущественную связь РЗЭ с ГК. С увеличением времени контакта было получено более высокое извлечение РЗЭ. Согласно зависимости, представленной на рис. 1, при обработке разбавленной HCl тяжелые РЗЭ десорбируются легче, чем легкие, т.е. происходит более селективное выщелачивание тяжелых РЗЭ.

На основании полученных данных последовательного химического выщелачивания установлено, что в бурых миоценовых углях Сергеевского месторождения преобладают подвижные формы РЗЭ, связанные с гуминовыми кислотами. Угли данного месторождения могут служить легко обогащаемым источником РЗЭ.

Работа поддержана Российским научным фондом, грант № 22-27-00116.

Литература

1. Иванов В.В. Экологическая геохимия элементов. Справочник. Кн.: 6. Редкие f-элементы. – М.: Экология, 1997. – 607 с.
2. Alonso E., Sherman A.M., Wallington T.J., Everson M.P., Field F.R., Roth R., Kirchain R.E., Evaluating Rare Earth Element Availability: A Case with Revolutionary Demand from Clean Technologies // *Environmental Science & Technology*. 2012. Vol. 46. No. 6. P. 3406-3414. <https://doi.org/10.1021/es203518d>.
3. Bühn B., Rankin A.H., Schneider J., Dulski P. The nature of orthomagmatic, carbonatitic fluids precipitating REE, Sr-rich fluorite: fluid-inclusion evidence from the Okorusu fluorite deposit, Namibia // *Chemical Geology*. 2002. Vol. 186. P. 75-98. [https://doi.org/10.1016/S0009-2541\(01\)00421-1](https://doi.org/10.1016/S0009-2541(01)00421-1).
4. Tyler G. Rare earth elements in soil and plant systems – A review // *Plant and Soil*. 2004. Vol. 267. P. 191–206. <https://doi.org/10.1007/s11104-005-4888-2>.
5. Brown T.J., Idoine N.E., Wrighton C.E., Raycraft E.R., Hobbs S.F., Shaw R.A., Everett P., Kresse C., Deady E.A. and Bide T. World mineral production. British Geological Survey. 2014-18. 2020. SBN 978-0-85272-788-1 (website version).
6. Носкова Л.П., Сорокин А.П. Геохимическое исследование органического вещества угля Сергеевского бурогоугольного месторождения // *Химия твердого топлива*. 2020. № 3. С. 3–13.
7. Vodyanitskii Y.N. Methods of sequential extraction of heavy metals from soils: New approaches and the mineralogical control (a review) // *Eurasian Soil Science*. 2006. Vol. 39. № 10. P. 1074-1083.
8. Tessier A., Campbell P.G.C., Bisson M. Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals // *Analytical Chemistry*. 1979. Vol. 51. No. 7. P. 844-851. <https://dx.doi.org/10.1021/ac50043a017>.
9. Finkelman R.B., Palmer C.A., Wan, P. Quantification of the modes of occurrence of 42 elements in coal // *International Journal of Coal Geology*. 2018. V. 185. P. 138–160.
10. Radomska V.I., Pavlova L.M., Shumilova L.P., Voropaeva E.N., Osipova N.A. Predictive assessment of toxicants' migration from technogenic gold-mining wastes (case study of the tailings management facility of Tokur mill, Amur region, Russia) // *Environmental Earth Sciences*. 2021. T. 80. № 23.
11. Radomska V.I., Radomskii S.M., Pavlova L.M., Gusev M.N. The first experience of studying the fraction distribution of heavy metals in sediments of the Zeya river basin (Far East, Russia) // *Water, Air, & Soil Pollution*. 2016. Vol. 227. No. 12. P. 438.
12. Radomska V.I., Borodina N.A., Pavlova L.M. Complex analysis of heavy metals mobility in the soils of the border town of Blagoveshchensk (Far East, Russia) // *International Journal of Environment & Pollution*. 2019. Vol. 65. No. 4. P. 350-375.
13. Головин А.А., Москаленко Н.Н., Ачкасов А.И., Волочкович К.Л., Гуляева Н.Г., Гусев Г.С., Килипко В.А., Криночкин Л.В., Морозова И.А., Трефилова Н.Я., Гинзбург Л.Н., Бедер А.Б., Ключев О.С., Колотов Б.А. Требования к производству и результатам многоцелевого геохимического картирования масштаба 1:200 000. М.: Изд-во Института минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов, 2002. – 92 с.

СООБЩЕСТВО ДОННЫХ БЕСПОЗВОНОЧНЫХ РЕКИ БОЛИН (НИЖНИЙ АМУР)

Н.М. Яворская, *yavorskaya@ivep.as.khb.ru*

Институт водных и экологических проблем ДВО РАН, г. Хабаровск
ФГБУ «Заповедное Приамурье», г. Хабаровск

В последние годы возросла угроза уменьшения разнообразия рыб и донных беспозвоночных предгорных и горных рек бассейна Амура под воздействием антропогенных факторов. Здесь разрабатываются месторождения полезных ископаемых, прокладываются новые дороги, ЛЭП, трубопроводы, огромные пространства освоены лесоразработками и повреждены пожарами; с 2003 г. формируется водохранилище Бурейской ГЭС – второе после Зейского крупное водохранилище в российской части бассейна Амура; существенно возросли масштабы рыболовства и туризма; вселяются чужеродные виды (с территории Китая), что может представлять угрозу аборигенной фауне [1]. Не стала исключением и р. Болин (басс. Нижнего Амура). Длина реки 43 км. Впадает она с правого берега в р. Бол. Хурба на расстоянии 10 км от устья. Имеет 14 притоков длиной менее 10 км, общей длиной 37 км [2].

Цель работы – оценить качество воды р. Болин по качественным и количественным характеристикам зообентоса до строительства трассы нефтепровода.

Материал и методика

Изучение структуры сообществ донных беспозвоночных р. Болин выполнялось 11 июля 2010 г. Грунт дна представлен разноразмерной галькой и камнями с примесью детрита. Температура воды 13° С. Вода в реке прозрачная.

Количественные пробы бентоса с глубины 0,25 м отбирали складным бентометром (площадь захвата 0,063 м²) и фиксировали 4 %-м раствором формалина. Камеральную обработку материала проводили по общепринятой методике [3–9, и др.]. Для определения структуры донных сообществ использовалась классификация А.М. Чельцова-Бебутова в модификации В.Я. Леванидова [10], по которой доминанты от общей плотности или биомассы составляли 15 % и более. Качество вод оценивали по биотическому индексу Вудивисса и индексу Гуднайта и Уитли [11].

Результаты и обсуждение

В р. Болин обнаружено 11 групп донных беспозвоночных (см. табл.).

Таблица. Групповой состав бентоса р. Болин (в среднем)

Группа зообентоса	Плотность, экз./м ²	Биомасса, г/м ²
Nematoda	16	<0,1
Oligochaeta	206	0,1
Hydrocarina	79	<0,1
Amphipoda	3016	15,9
Megaloptera	48	0,2
Plecoptera	48	<0,1
Ephemeroptera	330	0,1
Trichoptera	36	0,2
Tipulidae	16	<0,1
Empididae	24	<0,1
Chironomidae	238	<0,1
В среднем	259	0,6

Доминировали Amphipoda (40 и 88 %) по плотности и биомассе, Chironomidae (29 %) и Ephemeroptera (22 %) по плотности. Субдоминантов представляли Trichoptera по биомассе. Второстепенными были Hydrocarina, Oligochaeta, Plecoptera и Trichoptera по плотности, и Megaloptera, Chironomidae, Ephemeroptera по биомассе.

Предварительный список фауны амфибиотических насекомых включает 24 вида из 24 родов, в т.ч. девять видов и форм из семейства Chironomidae (*Thinemanniella* sp., *Orthocladius* sp., *Parakiefferiella bathophila* (Kieffer, 1912), *Eukiefferiella* gr. *brehmi*, *Cricotopus* gr. *tremulus*, *Dicrotendipes tritonus* (Kieffer, 1916), *Neozavrelia* sp., *Constempellina* sp., *Stempellinella* sp.), пять видов из отряда Ephemeroptera (*Serratella ignita* (Poda, 1761), *Ephoron* sp., *Ecdyonurus* sp., *Baetis* (B.) *fuscatus* Linnaeus, 1761, *Epeorus pellucidus* Brodsky, 1930), три вида из отряда Plecoptera (*Amphinemura* sp., *Nemoura* sp., *Megarcys* sp.), четыре вида из отряда Trichoptera (*Asynarchus* sp., *Rhyacophila* gr. *sibirica*, *Goera* sp., *Ceraclea* sp.), два вида из семейства Empididae (*Chelifera* sp., *Clinocera* sp.), один вид из отряда Megaloptera (*Sialis* sp.).

Данные биоиндикации показали (индекс Гуднайта и Уитли – 3 %, биотический индекс Вудивисса – 9 баллов), что р. Болин находится в хорошем состоянии, воды соответствуют I и II классам качества («очень чистые», «чистые»), зона ксено- и олигосапробная.

Автор благодарен Г.В. Новомодному, Н.М. Панасенко, Г.М. Тысло (ХфВНИРО, г. Хабаровск) за организацию полевых исследований и М.А. Макаrenchенко, к.б.н. О.А. Орел, д.б.н. В.А. Тесленко, д.б.н. Т.М. Тиуновой, Т.С. Вшивковой (ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН, г. Владивосток) за определение видовой принадлежности амфибиотических насекомых.

Литература

1. Антонов А.Л. Разнообразие рыб и структура ихтиоценозов горных водосборов бассейна Амура // Вопросы ихтиологии. 2012. Т. 52. № 2. С. 184–194.
2. Шабалин С.Д. (ред.). (1966) Ресурсы поверхностных вод. Гидрологическая изученность. Т. 18: Дальний Восток. Вып. 1: Амур. – Л.: Гидрометеорологическое изд-во. – 485 с.
3. Богатов В.В., Федоровский А.С. Основы речной гидрологии и гидробиологии. – Владивосток: Дальнаука, 2017. – 384 с.
4. Лелей А.С. (ред.). (2006) Определитель насекомых Дальнего Востока России. Т. 6: Двукрылые и блохи. Ч. 4. – Владивосток: Дальнаука. – 936 с.
5. Цалолихин С.Я. (ред.). (1994) Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий. Т. 1: Низшие беспозвоночные. – СПб.: б. и. – 400 с.
6. Цалолихин С.Я. (ред.). (1997) Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий. Т. 3: Паукообразные. Низшие насекомые. – СПб.: б. и. – 439 с.
7. Цалолихин С.Я. (ред.). (2000) Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий. Т. 4: Двукрылые насекомые. – СПб.: Наука. – 997 с.
8. Цалолихин С.Я. (ред.). (2001) Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий. Т. 5: Высшие насекомые. – СПб.: Наука. – 825 с.
9. Цалолихин С.Я. (ред.). (2004) Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий. Т. 6: Моллюски, Полихеты, Немертины. – СПб.: Наука. – 526 с.
10. Леванидов В.Я. Биомасса и структура донных биоценозов реки Кедровой // Пресноводная фауна заповедника «Кедровая падь». Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1977. Т. 45 (148). С. 126–159.
11. Вшивкова Т.С., Иваненко Н.В., Якименко Л.В., Дроздов К.А. Введение в биомониторинг пресных вод. – Владивосток: Изд-во ВГУЭС, 2019. – 240 с.

НОВЫЕ МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ ДИНОЗАВРОВЫХ ФАУН ПРИАМУРЬЯ

И.Ю. Болотский¹ *dinomus@ascnet.ru*

П.П. Скучас^{2,3}, И.Т. Кузьмин^{2,3}, Д.В. Григорьев^{2,3}, Р.А. Бапинаев^{2,3}, Д.А. Любченков⁴,
А.П. Богой⁴, Ю.Л. Болотский¹

¹ Институт геологии и природопользования ДВО РАН, г. Благовещенск

² Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург

³ Зоологический институт РАН, г. Санкт-Петербург

⁴ Благовещенский государственный педагогический университет. Г. Благовещенск

Уникальные позднемеловые динозавровые местонахождения Приамурья широко известны в научном сообществе. История их исследования насчитывает более 30 лет. За это время, были открыты 4 новых для науки рода и вида крупных растительноядных динозавров принадлежащих семейству Hadrosauridae [1]. Один из них - *Olorititan arharensis*, представлен первым полным скелетом динозавра, обнаруженным в России. Помимо растительноядных гадрозаврид, выделен комплекс хищных динозавров куда входят представители семейств Tyrannosauridae, Dromaeosauridae, Troodontidae [2,3]. Присутствуют фрагментарные остатки крокодилов, черепах и млекопитающих.

Отличительной чертой находок из приамурских местонахождений является уникальная сохранность. Многие тонкие структуры костей, в особенности черепных, попали в руки исследователей в очень хорошем состоянии. Это позволило сделать детальные морфологические описания. Тем не менее, в коллекции лаборатории ИГиП ДВО РАН присутствуют образцы, которые требуют изучения внутренних структур, недоступных поверхностному осмотру. Это кости динозавров с патологическими изменениями, мозговые коробки, челюсти.

Ранее, внутричерепная анатомия амурских динозавров была изучена с помощью силиконовых слепков эндокраниальной полости [4]. Этот метод, однако, не позволяет визуализировать строение внутреннего уха, а также каналов нервов и сосудов, заполненных породой. Сотрудники лаборатории ИГиП ДВО РАН, совместно с коллегами из Санкт-Петербургского государственного университета и Амурского областного онкологического диспансера изучили мозговые коробки шлемоголового гадрозавра *Amurosaurus riabinini* современным методом компьютерной томографии (рисунок 1) [5].

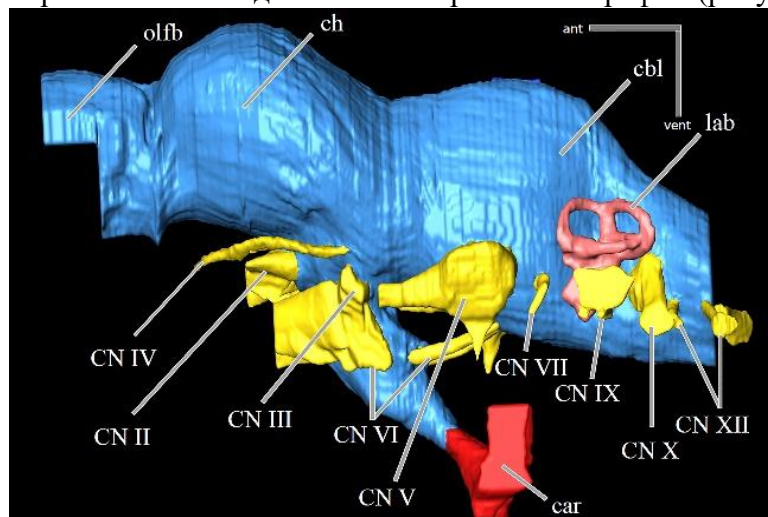


Рисунок 1. Трехмерная модель внутричерепной полости, лабиринт внутреннего уха, сонные артерии, черепно-мозговые нервы *A.riabinini*, полученные на основе КТ.

Обозначения:

CN – черепно-мозговые нервы,
II–XII – номер нерва,
car – внутренняя сонная артерия,
ch – большие полушария,
cbl – мозжечок,
lab – лабиринт внутреннего уха,
olfb – обонятельные луковицы.

Образцы были отсканированы на томографе SIEMENS SOMATOM Perspective (толщина среза 0.8мм, сила тока 283mA, мощности 120kV). Результаты томографии были обработаны в специализированной программе для 3D моделирования – Amira 6.3.0. В результате исследований впервые была получена трехмерная компьютерная модель мозга амурозавра с прорисовкой внутренних структур.

Модель мозга *Amurosaurus riabinini* имеет характерную для всех гадрозаврид вытянутую форму. Обонятельные луковицы относительно крупные. Большие полушария отделены от заднего мозга выраженной вогнутостью на дорсальной стороне. Угол между полушариями и мозжечком небольшой (15°). Задний мозг по высоте превосходит полушария, но сильно уже и меньше в объеме. Также, впервые для *A. riabinini* была сделана реконструкция внутреннего уха.

Метод компьютерной томографии также успешно применяется для изучения костей динозавров с патологическими изменениями.

Впервые проведено сканирование правой локтевой кости *Amurosaurus riabinini* (АЕИМ 1/1037) с ярко выраженной костной патологией на дистальном конце [6]. Дистальный конец демонстрирует гипертрофированное утолщение, а сочленовная поверхность скрыта внутри обширной костной мозоли (рисунок 2).

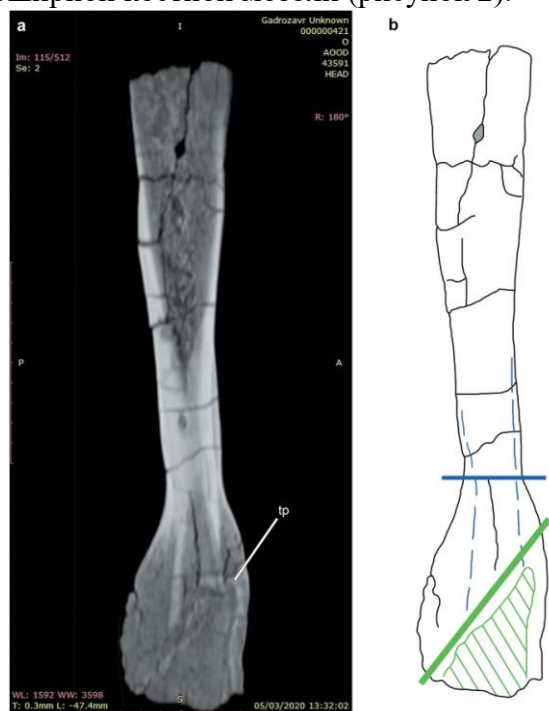


Рисунок 2.

а - Томографический снимок образца АЕИМ 1/1037 демонстрирующий сломанный фрагмент на дистальном конце кости.

б – прорисовка того же скелетного элемента с обозначением интересующей области.

tr – треугольная протрузия.

Томографическое сканирование выявило очевидный перелом, который обусловлен ударным воздействием и угловым смещением дистального конца кости. Наблюдается развитие крупной волокнистой мозоли. Следов инфекции обнаружено не было, и кость все еще заживала на момент гибели животного, хотя неправильное совмещение сломанных частей вызвало смещение двух фрагментов относительно друг друга. Во время движения, конечность животного испытывала постоянное давление на участок перелома, что приносило боль. Это влияло на способность к локомоции, вынуждая животное перемещаться на трех ногах.

Переломы костей являются наиболее распространенным видом травм, которые сохраняются в ископаемом состоянии. Плохое заживление глубоких повреждений может привести к заражению, а также неправильному сращиванию сломанных частей. Это ведет к существенному снижению способности животного к выживанию. Большое количество окаменелых переломов было выделено на динозавровых остатках из местонахождений Приамурья. Изучение реакции кости на переломы и другие повреждения, может обеспечить информацию о способности динозавров переносить даже серьезные травмы.

В 2022 году, в рамках реализации проекта грантового конкурса фонда Владимира Потанина впервые проведено поверхностное 3d сканирование костей амурских динозавров. В

результате были получены детальные модели, которые в перспективе позволят построить более достоверные реконструкции скелетов. Также, благодаря оцифровке коллекции, она со временем станет доступна для изучения коллегам из других институтов.

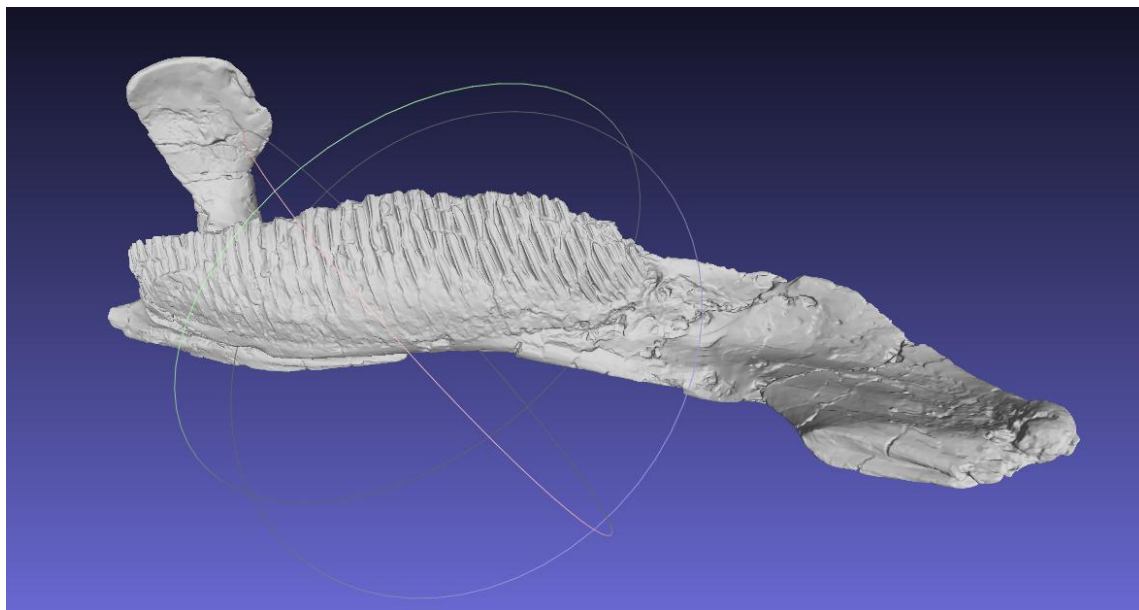


Рисунок 3. Трехмерная модель левой нижней челюсти шлемоголового гадрозавра *Olorotitan arharensis* полученная методом поверхностного 3d сканирования.

Применение современных методов, позволит вывести исследования амурских динозавров на новый уровень. Полученные результаты, вместе с уже имеющимися морфологическими данными, принесут новую фаунистическую, палеобиологическую, и палеоэкологическую информацию, что позволит воссоздать более полную научную картину позднего мела Приамурья.

Литература

1. Godefroit P. J. Van Itterbeeck, P. Lauters, Y. L. Bolotsky, Z.-M. Dong, L.-Y. Jin, S.-Q. Zan, S. Hai, and T. Yu. Latest Cretaceous hadrosaurid dinosaurs from Heilongjiang Province (P.R. China) and the Amur Region (Far Eastern Russia) // Actas de las IV Jornadas Internacionales sobre Paleontología de Dinosaurios y su Entorno Salas de los Infantes, Burgos. – 2009. – p. 91-120.
2. Bolotsky I.Yu. On paleoecology of carnivorous dinosaurs (Tyrannosauridae, Dromaeosauridae) from Late Cretaceous fossil deposits of Amur region, Russian Far East // Global Geology. – 2011. – Vol. 14. – N1. – p. 1-6.
3. Болотский И.Ю., Болотский Ю.Л., чл.-корр. РАН Сорокин А.П. Первая находка когтевой фаланги дромеозавриды (Dinosauria: Dromaeosauridae) из Благовещенского местонахождения позднемеловых динозавров (Амурская область) // Доклады Академии Наук. – 2019. – Том 484. – № 2. – с. 184-186.
4. Савельев С.В., Алифанов В.Р., Болотский Ю.Л. Анатомия мозга *Amurosaurus riabinini* и некоторые особенности нейробиологии утконосых динозавров // Палеонтологический журнал. – 2012. – № 1. – с. 77-88.
5. Бапинаев Р.А., Кузьмин И.Т., Болотский Ю. Л., Болотский И.Ю., Побережский А.В., Скучас П.П.. Исследование эндокраниальной анатомии *Amurosaurus riabinini* (Dinosauria: Hadrosauridae) с использованием компьютерной томографии // Палеонтология и Стратиграфия: Современное состояние и пути развития: Материалы LXVIII сессии Палеонтологического общества. – 2022. – с. 190.
6. Bertozzo F., Bolotsky I., Bolotsky Yu.L., Poberezhskiy A., Ruffell A., Godefroit P., Murphy E. A pathological ulna of *Amurosaurus riabinini* from the Upper Cretaceous of Far Eastern Russia // Historical Biology. – 2022. – p. 1-8.

АЛЕКСАНДР ЗИНОВЬЕВИЧ ЛАЗАРЕВ (К БИОГРАФИИ ГЕОЛОГА)И.А. Ермацанс, *irina@ignm.ru*

Институт геологии и природопользования ДВО РАН, г.Благовещенск

Для любого научной деятельности традиционно сохранение памяти о людях, внесших вклад в развитие того или иного направления науки. Геологические науки – не исключение. Обычно научные статьи предваряются данными о том, что и кем уже было сделано к моменту начала текущих исследований. Иногда имена ученых, которые были хорошо известны на определенном временном отрезке в рамках одной научной дисциплины, сегодня, если не забыты, то малоизвестны. Относится это и к Александру Зиновьевичу Лазареву, геологу, исследования которого на Дальнем Востоке начались с 1927 г. Некоторые неизвестные страницы его жизни и деятельности приоткрываются, благодаря материалам (документам, фотографиям, отчетам), сохранившимся в Государственном архиве Российской Федерации (ГАРФ, г. Ялutorовск), Государственном архиве Амурской области (ГАОО, г. Благовещенск), территориальном фонде геологической информации по Дальневосточному федеральному округу (ТФГИ по ДФО, г. Благовещенск).

А.З. Лазарев, уроженец г. Полтава (1898). Учился в Полтавском коммерческом, а затем Кооперативном училище Союза кредитных кооперативов. В 1919 г. ушел добровольцем в Красную Армию. В 1919–1920 гг. служил на Южном и Польском фронтах, был пулеметчиком на бронепоезде «Гроза» 45-й дивизии, позже – инструктором по допризывной подготовке в частях особого назначения. В 1920 г. во время взрыва бронепоезда получил ранение и контузию, попал в плен, освобожден в 1921 г. по обмену. После демобилизации окончил геологоразведочный факультет Московской Горной Академии (1922–1929) [1].

Студентом МГА в 1927 г. участвовал в поисковых партиях Алексея Всеволодовича Арсентьева на Зазубринском, Сагурском, Тарнахском и Харгинском золоторудных месторождениях [2, с. 55]. По окончании МГА в 1929 г. был направлен в Дальневосточное геологическое управление (ДГУ). В 1930–1938 гг., работал начальником геолого-съёмочных и геолого-поисковых партий Дальневосточного геологического управления. В ходе геологических исследований в северной части Охотского золотоносного района (Кур-Урминском районе) А.З. Лазарев (1930), а позже А.Ф. Атаманчук, впервые установили присутствие пермских отложений [3, с. 167].

«В 1932 г. производил поиски на золото в Южном Приморье. В результате была установлена золотоносность бассейна реки Кордонки, а по ее притоку ключу Казачья-Солонечная была открыта промышленная россыпь с высоким содержанием золота и определены запасы. На базе этой россыпи был организован новый прииск.

В 1933–1937 гг. производил геологические исследования в бассейне озера Ханка и в районе хребта Малый Хинган. В результате этих работ была произведена оценка золотоносности района Ханка и определено стратиграфическое положение железорудных свит М. Хингана. Кроме того было установлено широкое распространение марганцевого оруднения в пермских отложениях», - писал в своей автобиографии А.З. Лазарев [1, л. 10].

В 1937 г. участвовал в 17-й сессии Международного геологического конгресса в г. Москва, на который представил два доклада, один из них назывался «Главнейшие этапы развития складчатой структуры южной половины Дальневосточного края» [1, с. 10; 4, с. 589–596]. К докладу была приложена «Схематическая тектоническая карта южной части Дальневосточного региона». Позже Александр Олегович Мазарович отметил, что с этой схемы (1:6 000 000) началась «история формирования представлений о тектонической зональности» [5, с. 6]. На ней автор выделил «важнейшие надвиги, направления складчатости в палеозое и мезозое, ареалы распространения разновозрастных гранитоидов (древние, меловые и

послемеловые), что позволяет считать ее «первым опытом реконструкции геодинамической обстановки на протяжении палеозоя – мезозоя» [5, с. 6].

В 1938–1939 выполнял работы старшего инженера по геокарте [1, л. 4об]. В предвоенные годы участвовал в проведении среднемасштабных геологических съёмках известных к тому времени районов [6], принял «участие в разработке перспективного плана создания железорудной и угольной базы на Дальнем Востоке» [1, л. 10].

В 1940 г. А.З. Лазарев возглавил геолого-поисковую партию в Кавалеровский район Приморского края для проверки рекомендаций Георгия Павловича Воляровича об оловоносности данного района. Детальное «шлиховое опробование рек и ключей, стекающих с водораздела Сихотэ-Алиня в реки Павловку и Зеркальную», проведенное этой партией, подтвердило обоснования Г.П. Воляровича. Были открыты «коренное месторождение олова по правому борту ключа Партизанского (Лифудзинское, ныне Дубровское)», богатая делювиальная россыпь касситерита, россыпь по речке Перевальной. «Промышленное значение олова Кавалеровского района, - писал Г.П. Волярович – таким образом, стало окончательно доказанным. На следующий год геолого-поисковой партией под руководством Виктора Андреевича Ярмолюка открыто Хрустальное месторождение в системе реки Лудье. А еще через год одна из организаций «Главникельолово» приступила к добыче оловянного камня из делювиальной россыпи, обнаруженной А. З. Лазаревым. Этим было положено начало оловянной промышленности в Кавалеровском районе и на всем Дальнем Востоке» [7, с. 18]. В 1941 г. на базе этих месторождений был заложен Хрустальненский горно-обогачительный комбинат. В годы Великой Отечественной войны на Лифудзинском (Дубровском) и Хрустальном месторождениях не прекращалась добыча оловянного концентрата, самого дешёвого в стране [7, с. 18]. В 1943 г. А.З. Лазарев возглавил первую стационарную геологическую экспедицию в районе с. Кавалерово, продолжив поиски, в результате которых был открыт целый ряд оловорудных месторождений [6]. За открытие и исследование оловорудных месторождений на востоке и юго-востоке СССР, имеющих большое народнохозяйственное значение (Постановление СНК СССР «О присуждении Сталинских премий за выдающиеся работы в области науки за 1943–1944»), Смирнову Сергею Сергеевичу, Косову Борису Михайловичу, Левицкому Олегу Дмитриевичу, Лазареву А.З., Воляровичу Г.П. в 1946 г. была присвоена Сталинская премия I степени (первой степени) [8, с. 2; 7, с. 18-19].

В 1942–1944 Лазарев А.З. выполнял обязанности начальника Дальневосточного геологического фонда [1, л. 10].

По заявкам трестов в Дальневосточном геологическом управлении (ДВГУ) в 1941–1945 гг. составил сводку «по оценке золотоносности бассейнов рек Амгуни, Буреи и Селемджи; по четырем золотонным районам – Ниманскому, Кербинскому, Харгинскому и Хурмулинскому – были количественно оценены перспективы россыпного золота» [9].

С 1945 исполнял тематические работы, связанные с золотоносностью Дальнего Востока [1, л. 10об]. Так, по заданию Научно-исследовательского горно-разведочного института золота (НИГРИЗолото) исследовал золотоносность Верхнеселемджинского района (1946) [1, л. 4 об; 2, с. 55]. В 1948–1950 гг. А.З. Лазарев возглавил экспедицию, перед которой была поставлена задача выяснения перспектив россыпных месторождений золота в Зее-Буреинском амфитеатре. Геолого-структурная партия под его руководством, кроме работ по заданию, исследовала цагайские (сегодня выделяют цагайскую свиту: верхнюю палеоценовую, средне- и нижнюю верхнемеловые (маастрихтские)) верхнемеловые осадочные породы в окрестностях города Благовещенска, обратив внимание на выходы костей динозавров в карьере. В отчете он отметил: «Находка одной кости принадлежит пионеру Н. Бастрикину (*авт. – опечатка, должно быть И. Бастрыкину*), затем небольшие раскопки производил Г.С. Новиков и А.Г. Удод, которые собрали до 20 кг обломков костей. Нами в 1949 году, совместно с Г.С. Новиковым произведена расчистка и собраны кости. Они были переданы в Палеонтологический музей АН

СССР в Москве и просмотрены К.К. Флеровым¹ и А.К. Рождественским² и определены как принадлежащие *Mandschurosaurus*» [10, л. 200–201].

По результатам осмотра костного материала, найденного И. Бастрыкиным, Г.С. Новиковым-Даурским и А.З. Лазаревым, в Амурскую область в 1951 г. был направлен амурский отряд Сибирской экспедиции (В. Пресняков, Н.С. Шевырев), под руководством А.К. Рождественского [11]. И хотя было сделано заключение о бесперспективности Благовещенского местонахождения для палеонтологии, время доказало его ошибочность. Сегодня – это одно из крупнейших в России местонахождений динозавров, первое описание которого сделал А.З. Лазарев. К сожалению, дальнейшие обстоятельства его жизни и деятельности неизвестны, их еще предстоит выяснить.

Литература

1. Государственный архив Российской Федерации (ГАРФ). Ф. Р-9506. Оп. 6а. Д. 34. Л. 4–5об, 10–10об.
2. Васильев И.А., Мельников В.Д. Геологи Амурской области (Материалы к энциклопедическому словарю). Благовещенск: КИР Амурской области МП РФ, 1999. 103 с.
3. Геология СССР. Т. XIX. Хабаровский край и Амурская область. Ч. I. М.: «Недра», 1966. 736 с.
4. Лазарев А.З. Главнейшие этапы развития складчатой структуры южной половины Дальневосточного края // Труды XVII сессии Международного геологического конгресса (г. Москва, 20–29 июля 1937 г.). Т. 2. М.: ГОНТИ, 1939. 675 с.
5. Мазарович А.О. Тектоническое развитие Южного Приморья. М.: Наука, 1984. 104. – С. 6.
6. Геологическая служба Приморья (50 лет со дня основания) // Сост. М.Д.Рязанцева. Владивосток: Дальнаука, 2000 г., 159 с.
7. Безруков АА. За оловянным камнем (очерк истории геологических исследований Кавалеровского рудного района). Кавалерово, 1993. 71 с.
8. О присуждении Сталинских премий... // Правда, 1946, №23, от 27 января. С. 2.
9. Труд геологов-дальневосточников в годы Великой Отечественной войны // Геологический вестник. 2021, № 5(98). С. 2–3.
10. Федеральное агентство по недропользованию (Роснедра). Амурский филиал ФБУ «ТФГИ³ по Дальневосточному федеральному округу». 29235. Лазарев А.З., Пиотровский М.В., Славин В.М. и др. Геология, геоморфология и золотоносность северной части Зей-Буреинского амфитеатра. Отчет Амурской экспедиции «НИГРИЗолото» по материалам полевых работ 1948–1949 гг. Тема № 301 «Перспективы выявления россыпных месторождений золота Зей-Буреинского амфитеатра». Т. 1. М., 1951. 204 л.
11. Ермацанс И.А., Болотский Ю.Л., Болотский И.Ю. Позднемеловые динозавры Благовещенского местонахождения: к истории открытия // *Wschodnioeuropejskie Czasopismo Naukowe (East European Scientific Journal)*. 2017. Vol. 12, №28. Part 3. P. 18–22.

¹ Флёрв Константин Константинович (1904–1980) – палеонтолог, участник Монгольской палеонтологической экспедиции АН СССР (1946–1950), заведующий Палеонтологическим музеем им. Ю.А. Орлова (1946–1972).

² Рождественский Анатолий Константинович (1920–1983) – палеонтолог, участник Монгольской палеонтологической экспедиции АН СССР (1947–1950), возглавил амурский отряд Сибирской экспедиции Палеонтологического института АН СССР (1951).

³ ТФГИ – Территориальные фонды геологической информации

ЭКСПЕДИЦИОННЫЕ РАБОТЫ НА БЛАГОВЕЩЕНСКОМ ДИНОЗАВРОВОМ МЕСТОНАХОЖДЕНИИ В 2022 ГОДУ: РЕЗУЛЬТАТЫ И ДАЛЬНЕЙШИЕ ПЕРСПЕКТИВЫ

П.П. Скучас^{1,2}, *skutchas@mail.ru*; И.Ю. Болотский³, И.Т. Кузьмин^{1,2}, Д.В. Григорьев^{1,2}, В.В. Колчанов^{1,2}, Д.Д. Витенко^{1,2}, Р.А. Бапинаев^{1,2}, Е.В. Мазур¹, И.А. Парахин^{1,2}, Д.А. Любченков⁴, А.П. Богой⁴, Ю.Л. Болотский³

¹ Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург

² Зоологический институт РАН, г. Санкт-Петербург

³ Институт геологии и природопользования ДВО РАН, г. Благовещенск

⁴ Благовещенский государственный педагогический университет

Благовещенское местонахождение, расположенное в черте г. Благовещенск в Приамурье, известно благодаря находкам позднемеловых (маастрихт) динозавров. Из данного местонахождения описано два рода гадрозаврид (утконосых динозавров) – *Amurosaurus* и *Kerberosaurus* [1]. Кроме этих динозавров, в Благовещенском местонахождении были отмечены различные тероподы (тираннозавриды, дромеозавриды, троодонтиды) [2,3], черепахи, крокодилomorфы. Уникальными особенностями местонахождения являются массовость материала и доступность для проведения раскопочных работ. Несмотря на уже опубликованные исследования динозавровая фауна Благовещенска остается слабоизученной.

В июле 2022 года на Благовещенском местонахождении сотрудниками Института геологии и природопользования (ИГиП) ДВО РАН, Санкт-Петербургского государственного университета и Зоологического института РАН, были проведены совместные раскопочные работы. Кроме классических палеонтологических раскопок была организована промывка костеносной породы на ситах (всего было промыто 480 кг породы). В ходе раскопок был собран представительный материал по гадрозавридам, обнаружены зубы различных хищных динозавров, найдены кости гадрозаврид со следами укусов и костными патологиями. В результате промывки были обнаружены остатки мелких позвоночных – лягушек и ящериц. Это первая находка представителей данных групп в позднем мелу России.

Собранные в 2022 году и ранее материалы по динозаврам и другим позвоночным позволяют проводить различные палеобиологические исследования. Первый блок исследований связан с изучением гадрозаврид, а именно (1) детальное описание морфологии скелета описанных таксонов; (2) изучение возрастной и индивидуальной изменчивости; (3) реконструкция популяционной структуры; (4) описание нейроанатомии [4]; (5) изучение нейроваскулярной системы в челюстях и (6) описание костных патологий [5]. Второй блок исследований связан с изучением состава фаунистического комплекса и реконструкции палеоэкологических связей (например, изучение следов укусов и реконструкция трофических взаимодействий). Материалы промывки позволяют сделать первые выводы о нединозавровом компоненте фауны позвоночных Благовещенского местонахождения.

Благовещенское местонахождение остаётся перспективным для поиска новых таксонов динозавров и других позвоночных. Успешное применение массовой промывки указывает на необходимость использования этого метода в будущих экспедициях. На Благовещенском местонахождении необходимо проводить регулярные крупномасштабные раскопочные работы.

Литература

1. Godefroit P. J. Van Itterbeeck, P. Lauters, Y. L. Bolotsky, Z.-M. Dong, L.-Y. Jin, S.-Q. Zan, S. Hai, and T. Yu. Latest Cretaceous hadrosaurid dinosaurs from Heilongjiang Province (P.R. China) and the Amur Region (Far Eastern Russia) // Actas de las IV Jornadas Internacionales sobre Paleontología de Dinosaurios y su Entorno Salas de los Infantes, Burgos. – 2009. – p. 91-120.

2. Bolotsky I.Yu. On paleoecology of carnivorous dinosaurs (Tyrannosauridae, Dromaeosauridae) from Late Cretaceous fossil deposits of Amur region, Russian Far East // *Global Geology*. – 2011. – Vol. 14. – N1. – p. 1-6.
3. Болотский И.Ю., Болотский Ю.Л., чл.-корр. РАН Сорокин А.П. Первая находка когтевой фаланги дромеозавриды (Dinosauria: Dromaeosauridae) из Благовещенского местонахождения позднемеловых динозавров (Амурская область) // *Доклады Академии Наук*. – 2019. – Том 484. – № 2. – с. 184-186.
4. Бапинаев Р.А., Кузьмин И.Т., Болотский Ю. Л., Болотский И.Ю., Побережский А.В., Скучас П.П. Исследование эндокраниальной анатомии *Amurosaurus riabinini* (Dinosauria: Hadrosauridae) с использованием компьютерной томографии // *Палеонтология и Стратиграфия: Современное состояние и пути развития: Материалы LXVIII сессии Палеонтологического общества*. – 2022. – с. 190.
5. Bertozzo F., Bolotsky I., Bolotsky Yu.L., Poberezhskiy A., Ruffell A., Godefroit P., Murphy E. A pathological ulna of *Amurosaurus riabinini* from the Upper Cretaceous of Far Eastern Russia // *Historical Biology*. – 2022. – p. 1-8.

СОДЕРЖАНИЕ ВАЛОВОГО АЗОТА В АГРОПОЧВАХ ЮГА ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА ПРИ ВНЕСЕНИИ БИОУГЛЯ

А.В. Брикманс¹, О.В. Нестерова¹, В.А. Семаль^{1,2}, А.М. Гилёв¹

¹ФГБОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», г. Владивосток

²ФГБУН «Федеральный научный центр биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии»
ДВО РАН, г. Владивосток

При выращивании сельскохозяйственной продукции происходит вынос питательных элементов из почвы, что приводит к ее деградации. Одним из основных элементов питания растений является азот, поскольку по его содержанию можно судить о почвенном плодородии в целом, т.к. он входит в состав органического вещества и его общий запас в почве считается показателем ее потенциального плодородия [4]. При недостатке азота в почве растения желтеют, становятся этиолированными и отстают в росте и развитии. Накопление его так же, как и накопление углерода характеризует почвообразовательный процесс, обусловленный биологическим круговоротом веществ [3]. В настоящее время в сельском хозяйстве идет поиск различных органических технологий, которые могут улучшить физическое состояние почв и тем самым повлиять на другие процессы в почве улучшив в целом их состояние и минимизировать негативное влияние. Одной из таких технологий является внесение биоугля, который улучшает водно-воздушный режим агропочв [1, 6], обладает сорбционными свойствами и положительно влияет на урожай в целом [2, 5]. Биоуголь – это уголь, который производят путем нагревания древесины и других веществ при полном отсутствии кислорода.

Объектом исследования являлись агротемногумусовые подбелы (*Luvic Anthrosol*) Приморской овощной опытной станции с овощным севооборотом с применением глубокого дренажа (120 см) и без дренажа. В течение вегетационного периода почва использовалась под выращивание капусты и обрабатывалась способом грядования в обоих случаях. С 2018 г. в качестве мелиоранта для улучшения физических свойств почв впервые внесли биоуголь, произведенный из древесных остатков березы *Betula alba* (0,1 и 3 кг на м²) [6], (табл. 1).

Таблица 1. Схема полевого опыта 2017-2019 гг.

Год	Участок без дренажа почвы			Участок с дренажом почвы		
	биоуголь 0 кг/м ²	биоуголь 1 кг/м ²	биоуголь 3 кг/м ²	биоуголь 3 кг/м ²	биоуголь 1 кг/м ²	биоуголь 0 кг/м ²
2017	пар	пар	пар	пар	пар	пар
2018	капуста	капуста	капуста	капуста	капуста	капуста
2019	соя	соя	соя	картофель	картофель	картофель

Исследования показали, что в начале вегетационного периода (май) 2018 г. до внесения биоугля значения азота на поле с применением дренажной системы составило 0,047 % (табл.2), а на поле без применения дренажа 0,043 %. В конце вегетационного периода, спустя 6 месяцев после внесения биоугля значения валового азота на поле с дренажем в контрольном варианте составило 0,034 %, в вариантах, где вносился биоуголь в дозе 1 и 3 кг/м² значения по азоту составили 0,035 % и 0,044 %. Наблюдается незначительный рост азота в вариантах, где вносили биоуголь. На поле без применения дренажной системы значения по азоту составили в контроле 0,027 %, с внесением биоугля в дозе 1 кг/м² – 0,044 % и в дозе 3 кг/м² – 0,049 %. Данные показали, что на поле без применения дренажа значения валового азота выше, чем на поле с применением дренажа.

Спустя год после внесения биоугля (май 2019 г.) показатели по азоту составили в контроле на поле с дренажем 0,026 %, а в вариантах с биоуглем в дозах 1 и 3 кг/м² 0,043% и 0,063 %. Наблюдается стабильная закономерность увеличения содержания валового азота в агропочвах в вариантах с биоуглем. На поле без применения дренажной системы в контроле содержание азота составило 0,035 %, а в вариантах с биоуглем в дозах 1 и 3 кг/м² – 0,036% и 0,047 %. В конце вегетационного периода, спустя 1,5 года после внесения биоугля значения азота в агропочвах практически не меняются. Так на поле с дренажной системой показатель азота в контроле составил 0,051 %, в вариантах с биоуглем в дозе 1 кг/м² – 0,051%, а в варианте в дозе 3 кг/м² – 0,055 %. На поле без применения дренажа наблюдается снижение валового азота в вариантах с биоуглем. Так в контрольном варианте содержание валового азота составило 0,051 %, в варианте с биоуглем в дозе 1 кг/м² – 0,042%, а в варианте в дозе 3 кг/м² биоугля – 0,043 %.

Таблица 2. Содержание валового азота в % в агропочвах при внесении биоугля в дозах 1 и 3 кг/м²

Объект исследования	год			
	2018		2019	
	май	октябрь	май	октябрь
Др контроль	0,047	0,034	0,026	0,051
Др 1 кг/м ² биоугля	не вносили	0,035	0,043	0,051
Др 3 кг/м ² биоугля	не вносили	0,044	0,063	0,055
Бдр контроль	0,043	0,027	0,035	0,051
Бдр 1 кг/м ² биоугля	не вносили	0,044	0,036	0,042
Бдр 3 кг/м ² биоугля	не вносили	0,049	0,047	0,043

Таким образом исследования показали, что внесение биоугля в агропочвы в дозах 1 и 3 кг/м² благоприятно сказывается на накопление валового азота за счет того, что улучшает водно-воздушный режим агропочв и тем самым положительно влияет на микробиологическую активность. Однако спустя 1,5 года биоуголь разрушается, а следовательно, и свойства агропочвы возвращаются в исходное состояние, а значит биоуголь необходимо вносить повторно.

Литература

1. Atkinson, C.J., Fitzgerald, J.D., Hipps, N.A., 2010. Potential mechanisms for achieving agricultural benefits from biochar application to temperate soils: a review. *Plant Soil* 337, 1–18.
2. Bovsun M.A., Nesterova O.V., Semal V.A., Brikmans A.V., Khokhlova A.I., Karpenko T.Y., Castaldi S., Sakara N.A. / Effect of biochar on soil CO₂ fluxes from agricultural field experiments in Russian Far East // *Agronomy*. 2021. Т. 11. № 8.
3. Агрохимия. /Под. ред.Б.А. Ягодина. – М.: Колос, 1982. – 574с.
4. Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв 2-е изд. - М.: изд-во МУ, 1970. - 488 с
5. Нестерова О.В., Семаль В.А., Бовсун М.А., Васенев И.И., Брикманс А.В., Карпенко Т.Ю., Сакара Н.А. / Изменение свойств агропочв юга Дальнего Востока России при внесении биоугля // *Агрохимический вестник*. 2021. № 5. С. 18-23.
6. Попова, А. Д. Применение биоугля как мелиоранта и его влияние на изменение физических свойств агропочв юга Приморского края / А.Д. Попова, В. А. Семаль, А. В. Брикманс, О. В. Нестерова, Ю. А. Колесникова, М. А. Бовсун // *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. – 2019. - №6. - С. 57-63.

ТОРФЯНЫЕ ОЛИГОТРОФНЫЕ БОЛОТА БОРЕАЛЬНОЙ ЗОНЫ КАК УНИКАЛЬНЫЕ АРХИВЫ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ В ГОЛОЦЕНЕ

*Н.М. Горбач^{1, 2}, В.В. Старцев², А.С. Прокушкин³, А.А. Дымов^{2, 4}

*nikolay.tbo@yandex.ru

¹Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина, г. Сыктывкар

²Институт биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар

³Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, г. Красноярск

⁴Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва

Пожары являются общепланетарным явлением и оказывают влияние на все компоненты экосистем, включая почвенные [1]. Они имеют глобальный характер и могут привести к неожиданным изменениям в составе атмосферы, которые трудно спрогнозировать [2, 3]. Выбросы углекислого газа в результате учащения пожаров могут привести к эскалации глобального потепления, к необратимым и устойчивым изменениям экосистем. Наибольшее негативное влияние могут оказывать пожары в торфяных почвах, в связи с значительными запасами углерода, аккумулированными в них [4, 5]. Торфяные олиготрофные почвы (почвы верховых болот) в наибольшей степени подходят для изучения истории прошедших пожаров. Информация о климатических и экологических изменениях в голоцене сохраняется продолжительное время благодаря особенностям торфяных олиготрофных почв.

Цель данной работы заключалась в реконструкции пожарной динамики в подзоне средней тайги в Республике Коми и в Красноярском крае в голоцене на примере изучения слепожарных остатков в торфяных олиготрофных почвах.

Исследования проводили в бореальной зоне двух регионов России. Объектами явились четыре болотных массива. Два болота расположены на северо-востоке европейской части России, в подзоне средней тайги Республики Коми. Территория расположена в умеренном поясе. Современные среднегодовые температуры составляют 0–(–2)°С. Среднее количество осадков составляет 600–800 мм в год. Два болота расположены в бореальной зоне северо-запада восточной части России, в подзоне средней тайги Западной Сибири вблизи стационара «Zotto», где среднегодовая температура составляет –3.5°С, среднее количество осадков составляет 594 мм в год.

Реконструкцию динамики пожаров осуществляли по методике подсчета макроскопических частиц (макрочастиц) угля [6]. Процесс предполагал отбор образца сырого торфа объемом 1 см³ каждые 2 см торфяной колонки и последующее отбеливание в 10%-м водном растворе NaOCl объемом 100 см³ в течение не менее 24 ч при комнатной температуре для выявления содержания углистых частиц. Радиоуглеродный анализ проведен жидкостно-сцинтилляционным методом с помощью спектрометра-радиометра Quantulus в Институте мониторинга климатических и экологических систем Сибирского отделения РАН (ИМКЭС СО РАН).

В работе представлены результаты по комплексному изучению торфяных олиготрофных почв, как уникальных архивов, хранящих информацию об экологических и климатических изменениях в голоцене. Реконструирована динамика пожаров в бореальной зоне, в подзоне средней тайги на территории Республики Коми и Красноярского края в голоцене. По информации, хранящейся в торфяных залежах, воссоздана скорость накопления угля в разные периоды голоцена. Выявленные пирогенные остатки изученных торфов отражают отдельные этапы развития болот и их современное состояние. Высокая интенсивность пожаров в длительном промежутке времени наблюдается во время оптимума голоцена (атлантический период) (рис. 1). Показано что в суббореальный период, пожары происходили реже, чем во время оптимума голоцена. В результате исследования всех объектов выявлена высокая

концентрация макроскопических частиц угля в нижних торфяных горизонтах. Можно предположить, что пожары в них являлись фактором, приведшим к первоначальному заболачиванию территорий.

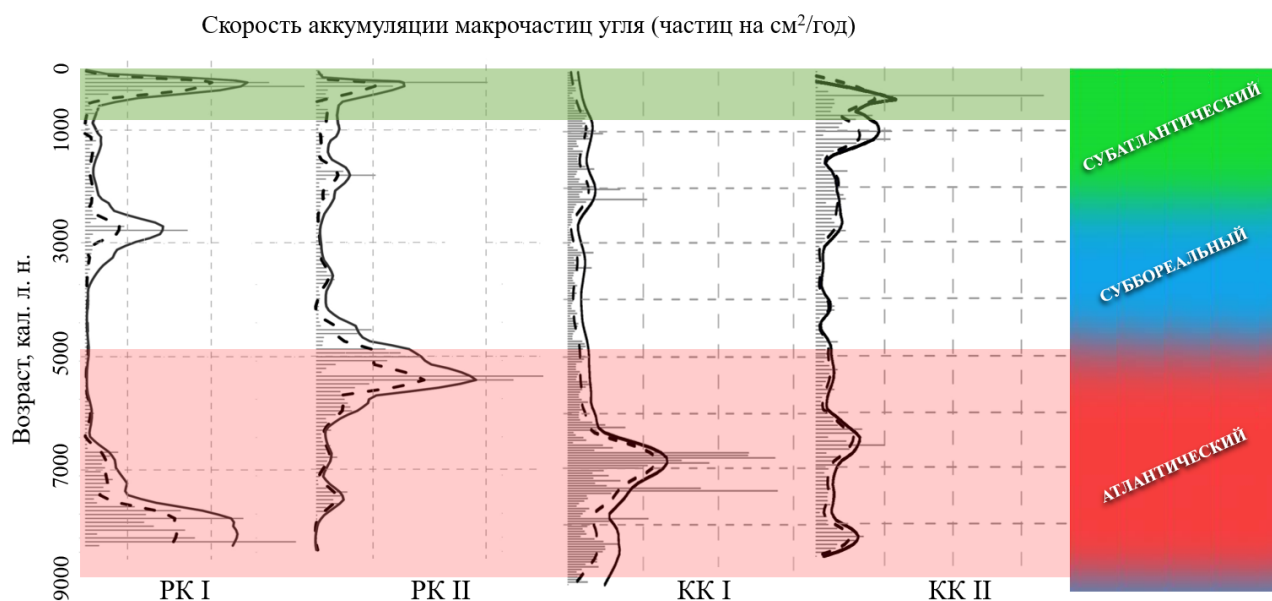


Рис. 1. Скорость аккумуляции угля (частиц на см²/год) в периоды голоцена в исследуемых торфяных отложениях (болотах). Расшифровка: РК I – Болото I Республики Коми; РК II – Болото II Республики Коми; КК I – Болото I Красноярского края; КК II – Болото II Красноярского края.

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта РФФИ № 19-29-05111 мк.

Литература

1. Дымов А.А. Сукцессии почв в бореальных лесах Республики Коми / А.А. Дымов. Москва: Общество с ограниченной ответственностью "Издательство ГЕОС". 2020. 336 с. <https://doi.org/10.34756/GEOS.2020.10.37828>.
2. Doerr S.H., Santin C. Global trends in wildfire and its impacts: perceptions versus realities in a changing world // Philosophical Transactions of the Royal Society B. Biological Sciences. 2016. V. 371. P. 1–10. <https://doi.org/10.1098/rstb.2015.0345>.
3. Flannigan M.D., Krawchuk M.A., de Groot W.J., Wotton B.M., Gowman L.M. Implications of changing climate for global wildland fire // International Journal of Wildland Fire. 2009. V. 18. No. 5. C. 483–507. <https://doi.org/10.1071/WF08187>.
4. Габбасова И.М., Сулейманов Р.Р., Ситдииков Р.Н., Гарипов Т.Т. Пирогенная деградация осушенных торфяных почв // Почвоведение. 2005. № 6. С. 724–730.
5. Сирин А.А., Медведева М.А., Макаров Д.А., Маслов А.А., Ханс Ю. Мониторинг растительного покрова вторично обводненных торфяников Московской области // Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле. 2020. Т. 65. № 2. С. 314–336. <https://doi.org/10.21638/spbu07.2020.206>.
6. Mooney S.D., Tinner W. The analysis of charcoal in peat and organic sediments // Mires and Peat. 2011. Т. 7. №. 9. С. 1–18.

МАЛОНАРУШЕННЫЕ ЛЕСНЫЕ ТЕРРИТОРИИ – ОЧЕНЬ ЦЕННЫЕ ЛЕСНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ

¹Л.П. Гуль, *dvniilh@gmail.com*, ²С.В. Корытова, *gul@ecrin.ru*

¹ФБУ Дальневосточного НИИ лесного хозяйства, г. Хабаровск

²ФГБУН Институт экономических исследований ДВО РАН, г. Хабаровск

Малонарушенные лесные территорий (МЛТ) – это целостные территории в пределах лесной зоны площадью более 50 тыс.га, не имеющие внутри постоянных поселений, действующих транспортных коммуникаций и не затронутых интенсивной хозяйственной деятельностью. МЛТ могут быть образованы самыми различными типами ландшафтов. МЛТ – это эталон дикой природы [1].

Основная часть МЛТ сосредоточена в 13 странах. Самые значительные площади сертифицированных МЛТ сосредоточена в России, в бореальной части Канады, в Бразильской Амазонки и дождевых лесах Индонезии и бассейна Конго [1].

Исключительная ценность МЛТ определяется их возможностями:

- смягчать изменения климата и накапливать значительные объемы углерода в биомассе и почве;
- регулировать погодные условия на местном и региональном уровнях (влияния на погоду, стимулирования дождей, снижения риска засух);
- обеспечивать благоприятный гидрологический режим (перераспределения стока);
- сохранять биоразнообразие (более высокую численность лесных видов флоры и фауны);
- способствовать реализации и возможности развития культуры коренных народов;
- снижать негативное воздействие пожаров на здоровье населения [2].

В России МЛТ занимают около 20% площади лесов. Это малодоступные территории в силу чего они развиваются по естественным законам создавая условия существовать и развиваться флоре и фауне в естественной среде обитания. Благодаря значительным площадям и слаженной внутренней организации МЛТ могут существовать неограниченно долго при отсутствии катастрофических нарушений [3].

На Дальнем Востоке наиболее ценными лесными экосистемами являются МЛТ в уникальной кедрово-широколистной формации (КШЛ) с кедром корейским (юг Хабаровского края, Приморский край, Еврейская автономная область). Эти биогеоценозы обладают биоразнообразием животного и растительного мира, имеющие в своем составе свыше 250 видов древесно-кустарниковой флоры, из которых более 50 растений, относятся к краснокнижным, сохранившиеся только в заповедниках и заказниках. Эти территории являются идеальными для проживания уссурийского тигра и дальневосточного леопарда [4].

Интересные исследования проведены Т.Я. Петренко с соавторами [5] в малонарушенных кедрово-широколиственных лесах на юге Приморского края. В насаждении более 250 лет не было антропогенных нарушений, отпад происходил только из-за естественных причин (ураганы, ветры, вспышки вредителей).

Проведены наблюдения за радиальным приростом трех хвойных (теневыносливых) пород: ель аянская, кедр корейский и пихта почкочешуйная и двумя лиственными (светолюбивыми) породами: береза ребристая и липа амурская. При выпадении старых или сломанных ураганами деревьев в сопках при улучшении освещения начинали активно расти молодые деревья и замещать старое поколение. Причем значительно интенсивно росли хвойные породы.

Для сохранения этих ценнейших лесов, не имеющих аналогов в мире, необходимо расширение сети заповедников и заказников и только такая мера может решить эту проблему.

Литература

1. Малонарушенные лесные территории и устойчивое лесопользование. Обзор WWF International// Устойчивое лесопользование. 2017. №3(51). С.40-47 *(для журналов)*
2. Исключительная ценность малонарушенных лесных экосистем. Перевод статьи с английского языка из журнала Ecology 8, Evolution. А. Беляевой, Н. Шматков// Устойчивое лесопользование. 2018. №3(55). С.17-28 *(для журналов)*
3. Шварц Е.А., Стариков И.В., Харламов В.С и др. Новый взгляд: предложения в проект стратегии развития лесного комплекса Российской Федерации на период до 2030 года// Устойчивое лесопользование. 2020. №4(63). С.2-25 *(для журналов)*
4. Ковалев А.П., Качанова Т.Г. О будущем кедрово-широколиственных лесов Дальнего Востока// Интенсификация использования и воспроизводства лесов Сибири и Дальнего Востока: Материалы Всероссийской научной конференции/отв. ред. А.Ю. Алексеев.- Хабаровск: Изд-во ФБУ «ДальНИИЛХ», 2021. С. 10-13 *(для тезисов и материалов)*
5. Петренко Т.Я. Ухваткина О.Н. и др. История естественных нарушений древостоя малонарушенных кедрово-широколиственных лесов на юге Дальнего Востока России//Лесные экосистемы бореальной зоны: биоазнообразие, биоэкономика, экологические риски: Материалы Всероссийской конференции с международным участием, 26-31 августа 2019 Красноярск [сб. докл], Красноярск: ИЛСОРАН, 2019. С. 327-329 *(для тезисов и материалов)*

ОТРАЖЕНИЕ СОВРЕМЕННОГО ПИРОГЕНЕЗА В ЗАПАСАХ УГЛЕРОДА И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВАХ ПОЧВ ЛИСТВЕННИЧНЫХ ЛЕСОВ ПРИАМУРЬЯ

А.В.Данилов*, С.В.Брянин, *sasha.danilov.2000@inbox.ru*

Институт геологии и природопользования ДВО РАН, Благовещенск

В свете современного изменения климата и увеличения частоты пожаров дискутируется вопрос о дополнительной секвестрации углерода (С) в экосистемах суши. Самый значимый вклад в долговременную консервацию С вносят экосистемы северного полушария [3]. Среди них бореальные леса России представляют собой самый значительный пул С сконцентрированный, в основном, в почвах. Лиственничники – это самая представительная формация в лесном фонде России, они занимают около 40% лесопокрытой территории [14] и регулярно подвергаются пожарам [13]. Лесные пожары исторически являлись драйверами развития лиственничных экосистем, а цикл этих лесов и вовсе невозможен без пожаров [16]. Но с середины 20 века учащающиеся пожары из фактора динамики превратились в фактор деградации лиственничных лесов [6].

В результате высокой пирогенной нагрузки в этих лесах сформировался существенный пул высокоуглеродистых продуктов горения, которые на сегодняшний день считаются наиболее устойчивым пулом С (>1000 лет). Пирогенный С (PyC) представляет собой совокупность веществ от частично обугленных растительных остатков до угля, сажи и отдельных полициклических соединений [1]. В процессе горения около 5% пиролизуемой биомассы преобразуется в PyC [2], а доля PyC в общих запасах почвенного органического вещества (Сорг) варьирует от 2–5 до 15% в глобальном масштабе [1]. Однако в почвах бореальной зоны, испытывающих высокие пирогенные нагрузки, его доля до сих пор мало изучена.

Пожар кроме воздействия на растительную биомассу влияет и на почву. Неоднозначно описываются исследователями постпирогенные изменения таких свойств почв, как содержание гумуса, обменных катионов, элементов минерального питания растений, а также значений pH, влажности и содержание калия и фосфора. В одних источниках описывается возрастание влажности почв после пожара из-за уменьшения транспирационного расхода влаги и увеличения поступления осадков [12]. По другим данным влажность почв снижается из-за обезвоживания илстой и коллоидной фракций, которые связывают влагу [11], а также в результате уплотнения почвы происходит уменьшение влагоемкости [15]. В постпирогенных почвах часто отмечается смещение показателя pH от кислого к нейтральному и щелочному диапазону, так как зола нейтрализует органические кислоты верхних почвенных горизонтов [8]. В других источниках описано постпирогенное снижение pH, связанное с выносом щелочноземельных элементов под влиянием осадков и паводковых вод [10]. В некоторых случаях отмечается, что в первые годы после пожара в почвах увеличивается содержание калия, фосфора и обменных катионов, но через некоторое время оно возвращается к допожарному уровню [9]. Вместе с тем, есть указания на то, что содержание обменных катионов, а также валовых форм азота и фосфора после пожара не изменяется [7].

Цель нашего исследования – определить влияние современного пирогенеза на запасы PyC в поверхностном слое почв лиственничных лесов Приамурья, установить их вклад в Сорг и, дать характеристику изменению физико-химических свойств почв.

Исследования проведены на 19 лесных площадках в центральной и северной зонах Амурской области в зоне светлохвойной тайги. Климат территории умеренно холодный, континентальный, средняя температура января -33°C, средняя температура июля 18°C, сумма осадков 500-700 мм с муссонным характером распределения. Изучены лиственничные леса в

смеси с березой и сосной разного возраста пожара. Все пробные площадки были разделены на два типа: гарь и фон.

Мы отобрали образцы почвы в слое 0-5 см цилиндрами диаметром 5 см, всего отобрано 155 образцов. Кроме почв изучали мощность слоя подстилки и её запас в 5 точках на каждой из 19 пп. В почвенных образцах определили влажность, кислотность, ёмкость катионного обмена, количественное содержание общего азота, калия, фосфора и Сорг. Отдельно определяли высокостабильные формы Р_уС (Р_уС_{ст}) методом “СТО375”, который основан на термическом окислении органического вещества в почве, с последующим определением остатка пирогенного происхождения [4]. Данный метод характеризует Р_уС, образованный при температурах выше 800°C, характерные для интенсивных пожаров. Метод "KMD", заключается в удалении органического вещества сильным раствором H₂O₂ и слабой азотной кислотой [5]. Такой метод благодаря щадящей обработке пробы позволяет сохранить большинство форм Р_уС, включая низкотемпературные, характерные для низовых пожаров и оценивает общее количество Р_уС (Р_уС_{общ}).

Среди изученных почв влажность изменялась от 42 до 60 %, плотность сложения от 0,14 до 0,36 г/см³. Кислотность водной вытяжки изменялась от 4,7 до 5,6, солевой от 3,6 до 4,1, а ёмкость катионного обмена - от 30,8 до 75 мг-экв/100 г почвы. Содержание общего калия изменялось от 139 до 793 мг/кг. Содержание общего фосфора изменялось от 89 до 402 мг/кг. Содержание общего азота изменялось от 0,3 до 0,92 %. Содержание С в почве изменялось от 5,3 до 24,9 %. Содержание Р_уС_{общ} изменялось от 1 до 3,4 %. Р_уС_{ст} от 0,17 до 0,49 %. Мощность подстилки варьировала от 3,2 до 9,7 см, а её запас от 5,5 до 25,3 т/га.

Среди изученных почвенных свойств мы установили значимые различия между фоновыми и постпирогенными лесами. Так в постпирогенных почвах происходит снижение влажности на 5%, повышению плотности сложения на 0,06 г/см³, смещение кислотности почвы в щелочную сторону, повышение содержания общего фосфора на 167,6 мг/кг и уменьшение общего углерода почв на 3,2 %, мощности и запаса подстилки на 4 см и 7,8 т/га соответственно. Значимых различий не установлено в ёмкости катионного обмена, содержании общего калия, азота, обоих видов Р_уС и их доли в С_{общ}. Но на уровне тенденции, наблюдается постпирогенное уменьшение ёмкости катионного обмена. Все изученные параметры почвы представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Параметры исследуемых почв (надстрочные буквы показывают значимость различий)

Параметр	Ед. измерения	Фоновые леса	Постпирогенные леса
Влажность почвы	%	53,4±1,4 ^a	48,5±1,3 ^b
Плотность сложения	г/см ³	0,23±0,01 ^a	0,29±0,02 ^b
рН вод.	ед.	5,07±0,07 ^a	5,64±0,07 ^b
рН сол.	ед.	3,87±0,09 ^a	4,2±0,08 ^b
ЕКО	мг-экв/100г почвы	70,6±2,8 ^a	66,1±4,9 ^a
K ₂ O	мг/кг	801±48 ^a	831±65 ^a
P ₂ O ₅	мг/кг	406±41 ^a	501±55 ^b
N	%	0,8±0,03 ^a	0,75±0,04 ^a
С _{общ}	%	21,79±1 ^a	18,6±1,1 ^b
Р _у С _{общ}	%	3,33±0,26 ^a	2,93±0,29 ^a
Р _у С _{ст}	%	0,4±0,05 ^a	0,46±0,08 ^a
Доля Р _у С _{общ} в С _{общ}	%	15,1±0,81 ^a	15,23±0,89 ^a
Доля Р _у С _{ст} в С _{общ}	%	2,76±0,74 ^a	2,41±0,2 ^a
Мощность подстилки	см	8,3±0,3 ^a	4,3±0,4 ^b
Запас подстилки	т/га	23,3±0,7 ^a	15,5±1,7 ^b

Наше исследование показало, что пул общего пирогенного углерода в верхнем слое почвы не изменяется под влиянием современных пожаров, а содержание высокостабильных форм пирогенного углерода уменьшается, что может быть объяснено увеличением частоты

пожаров, которые сжигают пирогенный углерод, образованный в более ранних пожарах в изучаемых лесах. Доля пирогенного углерода в поверхностных горизонтах достигает 15% от общего пула органического углерода. При этом доля высокостабильных форм пирогенного углерода, не превышает 2,4% от пула общего углерода.

Нами изучен поверхностный слой лесных почв Приамурья, и выявлено распределение углерода по пулам, включая пирогенные. Учитывая высокую стабильность пирогенного углерода и его способность к миграции вниз по почвенному профилю необходимо продолжить исследования структуры углеродных пулов в минеральных горизонтах лесных почв Приамурья.

Литература

1. Bird M.I., Wynn J.G., Saiz G., Wurster C.M., McBeath A. The Pyrogenic Carbon Cycle // *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*. 2015. V. 43. P. 273–298.
2. DeLuca T.H., Gundale M.J., Brimmer R.J., Gao S. Pyrogenic Carbon Generation From Fire and Forest Restoration Treatments // *Frontiers in Forests and Global Change*. 2020. № 3. P. 1–8.
3. Dixon R.K., Solomon A.M., Brown S., Houghton R.A., Trexler M.C., Wisniewski J., Carbon Pools and Flux of Global Forest Ecosystems, *Science*, 1994, Vol. 263, No. 5144, pp. 185–190.
4. Gustafsson O., Bucheli T.D., Kukulska Z., Andersson M., Largeau C., Rouzaud J.N., Reddy C.M., Eglinton T.I. Evaluation of a protocol for the quantification of black carbon in sediments // *Global Biogeochemical Cycles*. 2001. № 15. P. 881–890.
5. Kurth V.J., MacKenzie M.D., DeLuca T.H. Estimating charcoal content in forest mineral soils // *Geoderma*. 2006. V. 137. P. 135–139.
6. Sato H., Kobayashi H., Iwahana G., Ohta T. Endurance of larch forest ecosystems in eastern Siberia under warming trends // *Ecology and Evolution*. 2016. V. 6. № 16. P. 5690–5704.
7. Арефьева З.Н., Колесников Б.П. Динамика аммиачного и нитратного азота в лесных почвах Зауралья при высоких и низких температурах // *Почвоведение*. 1964. № 3. С. 30–43.
8. Гынинова А.Б., Сымполова Д.П. Изменение свойств дерново-лесных почв под влиянием пожаров // *Почвы Сибири, их использование и охрана*. Новосибирск, 1999. С. 120–124.
9. Зайдельман Ф.Р., Банников М.В., Шваров А.Л. Структура и экологическая оценка пирогенных образований на сгоревших осушенных торфяных почвах // *Вестник Моск. ун-та. Сер. 17, почвоведение*. 1998. № 2. С. 26–31.
10. Зайдельман Ф.Р., Морозова Д.И., Шваров А.Л. Изменение свойств пирогенных образований и растительности на сгоревших осушенных торфяных почвах полесий // *Почвоведение*. 2003. № 11. С. 1300–1309.
11. Карпель Б.А., Короходкша В.Т. Изменение почвенных условий после пожаров // *Лесные пожары в Якутии и их влияние на природу леса*. Новосибирск: Наука, 1979. С. 75–87.
12. Краснощекоев Ю.Н. Влияние пожаров на свойства горных дерново-таежных почв лиственничников Монголии // *Почвоведение*. 1994. № 9. С. 102–109.
13. Лупян Е.А., Барталев С.А., Балашов И.В., Егоров В.А., Ершов Д.В., Кобец Д.А., Сенько К.С., Стыценко Ф.В., Сычугов И.Г. Спутниковый мониторинг лесных пожаров в 21 веке на территории Российской Федерации (цифры и факты по данным детектирования активного горения) // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2017. Т. 14. № 6. С. 158–175.
14. Уткин А.И., Замолотчиков Д.Г., Честных О.В. Органический углерод лиственничных лесов России // *Хвойные бореальной зоны*. 2003. Т. 21. № 1. С. 66–76.
15. Тарабукина В.Т. Пирогенез и его влияние на экологическое состояние почв северной тайги // *Прикладная экология севера: опыт проведения исследований*. Якутск, 2003. С. 174–177.
16. Цветков П.А. Пирофитность лиственницы Гмелина с позиций жизненных стратегий // *Экология*. 2004. № 4. С. 259–265.

ЗАПАСЫ И БАЛАНС УГЛЕРОДА В ЛЕСАХ АМУРСКОЙ ОБЛАСТИД.Г. Замолодчиков¹, dzamolod@cepl.rssi.ru, А.В. Иванов²¹ Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН, Москва² Институт геологии и природопользования ДВО РАН, Благовещенск

В последние годы проблемы оценки баланса углерода в лесах и других природных экосистемах России стали предметом внимания не только научной общественности, но и управленческих и бизнес-кругов. Это внимание в значительной степени сформировалось в связи с постановкой задач низкоуглеродного развития в рамках Парижского климатического соглашения. Если в большинстве развитых стран низкоуглеродное развитие планируется обеспечивать за счет технологических преобразований в энергетике и промышленности, то в России значительное внимание уделяется природным, в первую очередь лесным, стокам углерода. При этом в некоторых публикациях можно найти крайне оптимистичные оценки стока углерода в леса России [10-12]. Авторы указанных публикаций упускают из виду аспект, связанный с необходимостью соблюдения ряда требований при формировании национальной отчетности по бюджету парниковых газов. Эти требования изложены в руководствах Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК) [9]. В частности, там отмечается, что оценки баланса углерода в управляемых лесах формируются на основе данных официальной инвентаризации лесов с применением конкретного набора уравнений, параметры которых могут быть определены по имеющимся национальным данным.

В полной мере рекомендациям МГЭИК соответствует разработанная одним из авторов настоящей работы система РОБУЛ (региональная оценка бюджета углерода лесов) [1, 2]. Предшествующие публикации результатов, полученных на основе РОБУЛ, охватывают как территорию России в целом [1-3], так и субъектов РФ и более мелких территориальных объектов [4, 5]. С 2010 г. РОБУЛ используется в Национальном кадастре парниковых газов для формирования отчетности по сектору лесного хозяйства [7 и более ранние]. В составе Национального кадастра система расчета баланса углерода в лесах подвергается ежегодным проверкам экспертов РКИК ООН. Успешное прохождение этих проверок подтверждает корректность системы и ее соответствие подходам МГЭИК.

В полном виде совокупность уравнений и параметров РОБУЛ приведена в работах [1, 2], поэтому здесь ограничимся кратким изложением подхода. Начальная часть расчетов представлена оценкой запасов углерода для возрастных групп лесных насаждений в дифференциации по преобладающим породам. Расчет запасов углерода в пулах фитомассы и мертвой древесины проводится на основе данных по запасам стволовой древесины из материалов Государственного лесного реестра (ГЛР) с применением наборов конверсионных коэффициентов. Расчет запасов углерода в пулах подстилки и почвы осуществляется на основании сведений о площадях насаждений лесообразующих пород из ГЛР с применением типовых средних значений. В ранних версиях РОБУЛ рассматривался лишь слой почвы 0-30 см. В поздней версии [6] оценка расширена на слой почвы 0-100 см. Получение оценок запасов углерода в разрезе групп возраста лесных насаждений обеспечивает возможность расчета приростов (абсорбции) по всем углеродным пулам с использованием информации о продолжительности возрастных групп.

Применение сведений о годовых площадях деструктивных нарушений (рубки, лесные пожары, прочие причины гибели лесных насаждений) к найденным запасам углерода в различных категориях лесных насаждений дает оценку годовых потерь углерода. Годовые масштабы деструктивных нарушений можно оценить двумя способами [2]: 1) по площадям гарей и вырубок с учетом времени их зарастания; 2) по текущим величинам пройденной огнем площади и масштабам рубок. В первом варианте для проведения расчетов достаточно лишь

материалов ГЛР, при этом формируются сглаженные (выровненные) оценки потерь углерода от рубок и пожаров. Во втором варианте необходимо привлечение дополнительных сведений по площадям сплошных рубок и пройденных огнем покрытых лесом земель за каждый год оцениваемого периода. Получаемые при этом величины потерь обладают высокой межгодовой вариабельностью, связанной с варьированием площадей лесных пожаров. Оценки, приводимые в настоящей работе, базируются на первом варианте, «сглаженном» варианте расчета потерь углерода. Расчеты баланса углерода в лесах Амурской области проведены в дифференциации по лесничествам на основе форм ГЛР по состоянию на 01.01.2022 г. Значения для области в целом получены путем суммирования результатов для лесничеств.

Лесничества Амурской области заметно различаются по площади покрытых лесом земель (максимальна в Зейском – 6705.8 тыс. га, минимальна в Благовещенском – 60.7 тыс. га). Вполне очевидно, что вклад лесничеств в запасы углерода лесов Амурской области будет в значительной степени зависеть от общей площади покрытых лесом земель. Суммарный запас углерода на покрытых лесом землях Амурской области по состоянию на 01.01.2022 г. составил 3620.1 Мт С (млн т С) (таблица), из которого 33.2% приходится на фитомассу, 3.9% на мертвую древесину, 3.7% на подстилку и 69.4% на слой почвы 0-100 см. По вкладу в областной запас углерода лесов лидируют Зейское (42,3%) и Урушинское (29,4%) лесничества. Минимальна доля запасов углерода лесов в Благовещенском (0,2%) и Завитинском лесничествах (0,3%).

Таблица. Запасы и потоки углерода лесов по лесничествам Амурской области

Лесничество	Площадь, тыс. га	Запас углерода, Мт С		Баланс углерода, тыс. т С год ⁻¹	
		фитомасса	все пулы	фитомасса	все пулы
Архаринское	712.0	27.0	120.4	-27.7	-88.2
Белогорское	487.1	17.9	78.5	-185.5	-285.8
Благовещенское	60.7	1.5	7.2	37.2	55.3
Бурейское	371.3	14.2	61.4	139.3	266.2
Завитинское	69.7	2.2	10.3	20.5	31.8
Зейское	6705.8	283.7	1115.4	601.4	2038.8
Магдагачинское	1025.2	21.3	125.6	144.5	211.0
Мазановское	1360.8	38.3	196.0	-101.5	46.0
Норское	3100.3	145.2	549.8	69.3	356.4
Свободненское	256.5	6.7	32.0	45.4	70.8
Тындинское	5727.2	192.2	914.8	143.1	453.0
Урушинское	2085.9	63.4	303.5	73.3	236.1
Шимановское	822.7	20.3	105.4	-55.6	-13.3
Амурская область	22785.0	834.0	3620.1	903.7	3378.1

Перед изложением результатов оценки баланса углерода уточним используемую терминологию. Под абсорбцией углерода понимаются его годовые приросты во всех пулах лесной экосистемы (фитомассы, мертвой древесины, подстилки, почвы). Эти приросты формируются как разность естественных потоков пополнения и вывода углерода из каждого пула. Например, для пула фитомассы это разность между чистой первичной продукцией (*NPP*) и потоками опада и отпада, переводящими углерод в пулы мертвой древесины и подстилки соответственно. Для мертвой древесины это разность между потоком отпада (пополнение), а также потоками при разложении мертвой древесины и перехода в пул почвы (вывод). Подчеркнем, что программное обеспечение РОБУЛ в современном варианте не предоставляет возможности оценки всей совокупности углеродных потоков, ограничиваясь расчетом приростов углеродных пулов. Недеструктивные нарушения лесного покрова (низовые пожары слабой интенсивности, рубки ухода, выборочные рубки) приводят к некоторому снижению запасов насаждений, при этом нарушенные территории остаются в составе покрытых лесом земель. Потому влияние недеструктивных нарушений сказывается на величине средних объемных запасов насаждений в том или ином лесном регионе, за счет чего они учитываются в оценке величины поглощения углерода по РОБУЛ.

осуществленной в работе [6]. Отметим, что расчеты баланса углерода в лесах в Национальном кадастре проводятся для субъектов РФ. В настоящей работе оценки осуществлены по лесничествам. Проведение расчетов баланса углерода на уровне лесничеств позволяет более рационально планировать меры по усилению стока углерода в леса.

Исследования выполнены при финансовой поддержке РНФ РНФ 19-77-30015 «Разработка методов и технологии комплексного использования данных дистанционного зондирования Земли из космоса для развития системы национального мониторинга бюджета углерода лесов России в условиях глобальных изменений климата».

Литература

1. Замолодчиков Д.Г., Грабовский В.И., Краев Г.Н. Динамика бюджета углерода лесов России за два последних десятилетия // Лесоведение. 2011. № 6. С. 16-28.
2. Замолодчиков Д.Г., Грабовский В.И., Шуляк П.П., Честных О.В. Влияние пожаров и заготовок древесины на углеродный баланс лесов России // Лесоведение. 2013. № 5. С. 36-49.
3. Замолодчиков Д.Г., Грабовский В.И., Шуляк П.П., Честных О.В. Современное сокращение стока углерода в леса России // Доклады Академии наук. 2017. Т. 476. № 6. С. 719-721.
4. Замолодчиков Д.Г., Иванов А.В. Запасы и потоки углерода в лесах Уссурийского лесничества согласно оценке по системе РОБУЛ // Аграрный вестник Приморья. 2016. № 1. С. 12-15.
5. Замолодчиков Д. Г., Иванов А.В., Мудрак В.П. Запасы и потоки углерода на землях лесного фонда Приморского края при оценке по системе РОБУЛ // Аграрный вестник Приморья. 2018. № 2. С. 46-51.
6. Замолодчиков Д.Г., Грабовский В.И., Честных О.В. Новая оценка баланса углерода в лесах федеральных округов Российской Федерации // Биоразнообразие и функционирование лесных экосистем. – М.: Товарищество научных изданий КМК, 2021. – С.153-174.
7. Национальный доклад о кадастре антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов не регулируемых Монреальским протоколом за 1990 – 2019 гг. – Часть 1. Москва, 2022. – 468 с.
8. Национальный доклад о кадастре антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов не регулируемых Монреальским протоколом за 1990 – 2019 гг. – Часть 2. Москва, 2022. – 111 с.
9. Руководящие указания по эффективной практике для землепользования, изменений в землепользовании и лесного хозяйства. Программа МГЭИК по национальным кадастрам парниковых газов. МГЭИК, 2003.
10. Филипчук А.Н., Моисеев Б.Н., Малышева Н.В. Новые аспекты оценки поглощения парниковых газов лесами России в контексте Парижского соглашения об изменении климата // Лесохозяйственная информация. 2017. № 1. С. 88-98.
11. Филипчук А.Н., Малышева Н.В., Золина Т.А., Югов А.Н. Бореальные леса России: возможности для смягчения изменения климата // Лесохозяйственная информация. 2020. № 1. С. 92-114.
12. Schepaschenko D., Moltchanova E., Fedorov S. et al. Russian forest sequesters substantially more carbon than previously reported // Scientific Reports. 2021.V. 11. 12825

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РАЗВИТИЯ АРЕАЛОВ ИНВАЗИВНЫХ ФИТОПАТОГЕНОВ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИ МАКСИМАЛЬНОЙ ЭНТРОПИИ

В.Б. Звягинцев, mycolog@tut.by; А.Г. Пинчук, anna.pinchuk.99@mail.ru

Белорусский государственный технологический университет, г. Минск

В настоящее время применяются различные подходы к оценке вероятности инвазий вредоносных организмов на новые территории. Эта работа важна, прежде всего, для детализации карантинных мероприятий, адаптации агроценозов и нативных экосистем к вторжению чужеродных организмов, среди которых доминируют представители царства грибов [1]. Целью данных исследований является попытка использования компьютерного моделирования, основанного на принципе максимальной энтропии, для оценки потенциального географического ареала видов фитопатогенов.

Модель MaxEnt основывается на анализе геоинформационных данных об известных местонахождениях определенного вида и экологических характеристик этих местоположений, строит потенциальный ареал в сходных условиях опираясь на важность в распространении вида конкретных экологических факторов – предикторов. Среди моделей экологических ниш (ENM) алгоритм машинного обучения MaxEnt широко распространен при решении научных задач, используется в моделировании пригодности местообитаний из-за его точных возможностей прогнозирования и дополнительных описательных свойств [2]. С целью отработки параметров модели были отобраны 2 группы видов фитопатогенных грибов из карантинного списка ЕАЭС – виды уже выявленные на территории Беларуси (*Hymenoscyphus fraxineus* Baral et al., *Phytophthora alni* Brasier, Kirk) и виды по экспертным оценкам потенциально способные к проникновению (*Phytophthora ramorum* Werres et al., *Melampsora medusae* Thüm.).

Модели вероятностного ареала строились на основании данных о распространении грибов, места находок которых были взяты с интернет-ресурсов GBIF, EPPO [3, 4] и дополнены нашими собственными наблюдениями. Помимо координат точек присутствия вида для анализа распределения были использованы климатические данные и данные о рельефе (WorldClim), почвенные факторы (ISRIC SoilGrids), а также информация о растительном покрове региона (GlobCover) [5-7].

Путем подбора предикторов, набор которых оказался уникальным для каждого вида фитопатогенов, и определенных настроек программы, удалось получить достаточно точную прорисовку естественных и инвазивных ареалов. На выходе, мы получаем карту желаемого масштаба (регион, страна, континент, мир) с потенциальным ареалом исследуемого вида, раскрашенным по шкале вероятности его развития в конкретных условиях от 0 до 100%. С различной вероятностью модель MaxEnt допускает возможность проникновения *Ph. ramorum*, *M. medusae*. с запада в Восточную Европу, включая территорию Беларуси, и далее в азиатские регионы континента.

На основе проведенных математических проверок и визуальной оценки полученного картографического материала сделан вывод о высокой точности используемого метода компьютерного моделирования, что подтверждается литературными данными и нашими собственными исследованиями распространённости изучаемых инвазивных видов. Считаем, что модель MaxEnt является вполне перспективным инструментом для решения задач в области отслеживания ареалов инвазивных фитопатогенных организмов.

Литература

1. Звягинцев В.Б. Глобализация проблем лесной фитопатологии / Проблемы лесной фитопатологии и микологии: материалы 9-й Международной конференции // под ред. В.Г. Стороженко, В.Б. Звягинцева – Минск: БГТУ, 2015. – С. 89–90.
2. Steven J. Phillips, Robert P. Anderson, Robert E. Schapire. Maximum entropy modeling of species geographic distributions // Ecological Modelling – 2006. – Vol.190, P. 231–259.
3. Global Biodiversity Information Facility – URL: <https://www.gbif.org/ru/occurrence/search> (дата обращения 2021-11-03).
4. European and Mediterranean Plant Protection Organization – URL: <https://gd.eppo.int/taxon/PHYTRA/distribution> (дата обращения 2022-01-21).
5. Global Climate Data – URL: <http://worldclim.org/> (дата обращения 2021-11-04).
6. ISRIC SoilGrids – URL: <https://data.isric.org/geonetwork/srv/rus/catalog.search#/metadata/20f6245e-40bc-4ade-aff3-a87d3e4fcc26> (дата обращения 2022-01-21).
7. GlobCover land Cover Maps – URL: http://due.esrin.esa.int/page_globcover.php (дата обращения 2022-01-21).

ЗАЩИТНЫЕ ЛЕСА АМУРСКОЙ ОБЛАСТИ

А.В. Иванов¹, *aleksandr86@mail.ru*, Д.Г. Замолотчиков², *dzamolod@mail.ru*

¹Институт геологии и природопользования ДВО РАН, г. Благовещенск

²Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН, Москва

Леса Российской Федерации по целевому назначению разделены на эксплуатационные, защитные и резервные. Защитные леса «выделяются в целях сохранения средообразующих, водоохранных, защитных, санитарно-гигиенических, оздоровительных и других полезных функций лесов» [1]. В лесном фонде России защитные леса занимают 21.5 %, однако их распределение по субъектам Федерации и отдельным лесничествам сильно варьирует [2]. Масштабные нарушения лесного покрова вследствие рубок и пожаров, изменения климата, развитие инфраструктуры, рекреационная деятельность и другие процессы усиливают нагрузку на защитные леса, а их функции становятся все более востребованными для общества. Анализ современного состояния защитных лесов в конкретных регионах, оценка достаточности их площадей для выполнения своих функций являются актуальной задачей.

Цель работы – анализ распределения площадей защитных лесов и их доминирующих категорий на территории Амурской области с выделением функций, которые требуют усиления.

Амурская область, занимающая площадь 36.4 млн га, расположена в южной части Дальневосточного федерального округа. Южная граница области проходит по р. Амур, разделяющей Россию и Китай, а северная – по Становому хребту. Лесистость региона составляет 64 %. Леса Амурской области преимущественно представлены лиственничниками средней продуктивности с запасами 50-200 м³/га [3]. Возобновительный цикл лиственничников, как правило, связан с пожарами, которые регулярно возникают на территории Сибири и Дальнего Востока [4, 5]. Область полностью располагается в левобережной части бассейна р. Амур и занимает 19.6 % его площади. В отличие от большинства крупных рек Мира, которые зарегулированы, Амур остается свободно текущим и водность его бассейна во многом определяется состоянием лесов Амурской области. Таким образом, помимо обеспечения лесной промышленности древесиной, леса области осуществляют важные экосистемные сервисы по защите криолитозоны, регулированию водного стока, а также локального и глобального климата, аккумулируя значительные запасы углерода [7].

Для анализа использовались базы данных Государственных учетов лесного фонда (ГУЛФ) (1988, 1993, 1998-2008 гг.) и Государственного лесного реестра (ГЛР) (2009-2000, 2022 гг.), имеющиеся в информационных архивах ЦЭПЛ РАН и ИГИП ДВО РАН. В этих базах содержится информация о площадях земель лесного фонда в дифференциации по категориям земель и категориям защитности лесов. Категории земель включают покрытые лесом земли, не покрытые лесом земли (несомкнувшиеся лесные культуры, питомники и лесные плантации, естественные редины, гари, погибшие насаждения, вырубki, прогалины, пустыри) и нелесные земли (пашни, сенокосы, пастбища, воды, сады и ягодники, дороги и просеки, усадьбы, болота, пески, ледники, прочие земли).

Общая площадь защитных лесов Амурской области в 2022 г. составляла 2.51 млн. га, из этой величины 1.72 млн га (68.5 %) было покрыто лесом, 0.18 млн га (7.2 %) относилось к не покрытым лесом землям, 0.61 млн га (24.3 %) – к нелесным землям. Доля покрытых лесом земель от всей площади защитных лесов в Амурской области несколько больше, чем в целом для Российской Федерации (58.0 %), что вполне логично объясняется отсутствием значительных площадей нелесных ландшафтов (необлесенных болот, тундр и т. д.). Доля защитных лесов от лесного фонда Амурской области составляет 5.6 % по покрытым лесом землям и 8.2 % по всем землям, что примерно в 3 раза уступает аналогичным показателям для Российской Федерации (21.5 % и 24.8 % соответственно).

Наибольшая площадь приходится на запретные полосы лесов (рис.), расположенные вдоль водных объектов (47.9 % от покрытых лесом земель и 49.6 % от всех земель защитных лесов). Для территории Амурской области значима проблема стабильности гидрологического режима [7], и потому водоохранная функция защитных лесов доминирует. На втором месте по представленности находятся нерестовые полосы лесов (29.0 % от покрытых лесом земель, 27.2 % от всех земель). Ихтиофауна Амурской области насчитывает 74 вида рыб, в том числе виды из семейств лососеобразных и осетрообразных, часть из которых являются объектами промысла [8]. Третье место по вкладу занимают защитные полосы лесов, расположенные вдоль железнодорожных путей общего пользования, федеральных автомобильных дорог общего пользования, автомобильных дорог общего пользования, находящихся в собственности субъектов Российской Федерации (20.7 % от покрытых лесом земель, 20.9 % от всех земель). Подавляющая часть грузопотоков по железнодорожной сети Амурской области носит транзитный характер. Значение Амурской области как транзитного региона подтверждается и высокой долей «придорожных» защитных лесов.

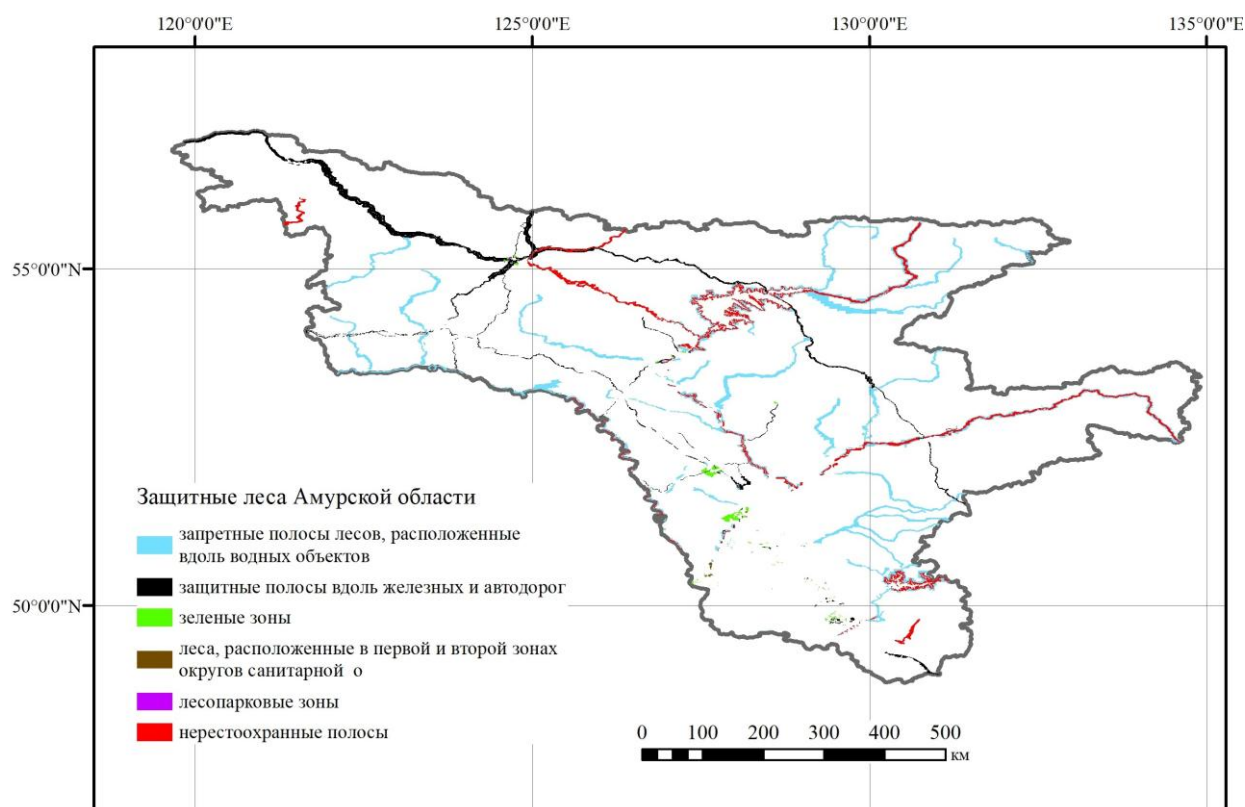


Рис. Защитные леса Амурской области

В 1993 г. площадь гарей и погибших насаждений в защитных лесах Амурской области составляла 38.2 тыс. га, а в 2022 г. 32.1 тыс. га. Площадь вырубок защитных лесов в 1993-2022 гг. варьировала между 8.6 и 14.0. В некоторых публикациях высказывались опасения, что под видом санитарных и выборочных рубок в защитных лесах осуществляется коммерческая заготовка древесины [9]. Динамика площадей вырубок в Амурской области дает основания к таким опасениям.

Учитывая малую долю защитных лесов в лесном фонде Амурской области, а также усиление влияния на них антропогенного фактора, можно заключить, что имеющиеся площади защитных лесов, выделенные вдоль водных объектов, не достаточны для полноценного выполнения ими сервисов, связанных с поддержанием гидрологического режима рек. По нашему мнению, нормативы выделения водоохраных лесов должны иметь региональную специфику, поскольку как физические характеристики рек, так и хозяйственное значение территорий их бассейнов различаются в разных регионах. Увеличение площадей водоохраных

лесов Амурской области может быть достигнуто путем пересмотра ширины водоохранных зон вдоль рек.

Защитные водоохранные и нерестовые полосы лесов Амурской области, выполняя свои водорегулирующие функции, участвуют в создании благоприятных условий для нереста и миграции горбуши и кеты. В настоящее время кета находится в Красной книге Амурской области, однако наличие полноценно функционирующих нерестовых полос лесов может стать основой для увеличения зоны массового нереста кеты в этом субъекте России. Для этого, вероятно, следует увеличить площадь нерестовых полос лесов преимущественно в восточной части Амурской области. Современный вклад нерестовых полос в покрытые лесом земли Амурской области составляет всего 2.2 %, в то время как в Приморском крае доля их площади составляет 7.6 %.

Согласно циркумполярной карте многолетней мерзлоты [10] 30 % площади Амурской области находится в зоне непрерывной, 24 % прерывистой, 11 % спорадической и 19 % изолированной мерзлоты. Здесь проявляются негативные последствия деградации многолетнемерзлых грунтов, связанные как с климатическими, так и с антропогенными причинами. Поэтому авторы предлагают ввести новую категорию защитных лесов – «леса, расположенные на участках с высоким риском деградации многолетней мерзлоты».

Литература

1. Лесной кодекс Российской Федерации. Утвержден 04.12.2006 N 200-ФЗ (ред. от 30.12.2021).
2. Замолотчиков Д.Г., Грабовский В.И., Каганов В.В. Экосистемные услуги и пространственное распределение защитных лесов Российской Федерации // Лесоведение. 2021. № 6. С. 581–592.
3. Яборов В.Т. Леса и лесное хозяйство Приамурья. Благовещенск: Издательская компания «РИО», 2009. 224 с.
4. Уткин А.И. Леса Центральной Якутии. М.: Наука, 1965. 207 с.
5. Абаимов А.П. Особенности и основные направления динамики лесов и редколесий в мерзлотной зоне Сибири // Сибирский экологический журнал. 2005. Т. 12. № 4. С. 663-675.
6. Замолотчиков Д.Г., Грабовский В.И., Коровин Г.Н. Управление бюджетом углерода лесов Дальнего востока России: прогнозный анализ по модели CBM-CFS // Лесная таксация и лесоустройство. 2009. № 1 (41). С. 98-103.
7. Гусев М.Н. К проблеме наводнений в Приамурье // Проблемы региональной экологии. 2014. № 6. С. 84-90.
8. Тоушкина А.Ф., Тоушкин А.А., Тарабанько А.Н. Видовой состав и хозяйственное значение рыб водоемов Амурской области // Комплексное использование природных ресурсов. Вып. 6. Благовещенск, Дальневосточный государственный аграрный университет, 2019. С. 88-93.
9. Кобяков К., Лепешкин Е., Титова С. Защитные леса: получится ли их сохранить? // Устойчивое лесопользование. 2013. № 1 (34). С. 34-44.
10. Brown J., Ferrians O.J., Heginbottom J.A., Melnikov E.S. Circum-Arctic map of permafrost and ground-ice conditions. Circum-Arctic map of permafrost and ground-ice conditions. USGS Publications Warehouse, 1997. <http://pubs.er.usgs.gov/publication/cp45>.

РОСТ ДРЕВЕСНЫХ ПОРОД НА ОТВАЛАХО.А. Климова, *olia_1983kem@mail.ru*

Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН, г. Кемерово

Рост растений является интегральным показателем процессов, протекающих в растениях под действием сумм экологических факторов. Безусловно, под понятием «рост» понимается не только увеличение количественных показателей, но и качественных преобразований, но для оценки состояния растений, достаточно применять простые свидетельства роста [1]. Обычно при краткосрочных опытах используют прирост побегов, как интегральный показатель состояния растений. Но в экстремальных условиях произрастания древесных пород весь годичный прирост может почти полностью погибать и реального прироста растений в высоту не происходит. Поэтому наиболее показательным является увеличение высоты растений до экологического оптимума [2].

А.Н. Куприяновым и В. Г. Михайловым (1991) была предложена вероятностная модель роста растений в высоту при различной напряженности экологических факторов. Напряженность экологических факторов определяет экологический оптимум растений. Сравнивая полученные данные выращивания древесных растений в благоприятных (контроль) и неблагоприятных (отвал) условиях мы можем оценить величину фактора, выраженную в изменении высоты растений. Различия во временных периодах, для достижения экологического оптимума могут служить показателями периода адаптации растений к новым условиям.

Поскольку экспериментальные площадки находятся в примерно одних и тех же климатических условиях, то различия касаются агрофизических, агрохимических условий и, прежде всего, обеспеченностью элементов минерального питания [3].

Техноземы отвала представлены песчаником (60%), алевролитами (20%), аргиллитами (15%), суглинками и глинами (5%). Преобладающей фракцией являются крупные агрегаты (от 3 до 10 и более мм), содержание мелких частиц снижено. Исследуемые элювии характеризуются щелочной реакцией (РН 7,8), низкой обеспеченностью подвижными формами фосфора и азота (7 и 1,7 мг/кг соответственно), содержание обменного калия чуть ниже нормы (125 мг/кг) [4]. Почвы ботанического сада - чернозем луговой с высоким содержанием гумуса от 8 до 11%, фосфора - 150 мг/кг, калия - 100 мг/кг. Поэтому основной фактор, который может сдерживать рост растений на отвале незначительное количество элементов минерального питания.

Целью данной работы является изучение увеличения высоты растений на отвалах

Исследования проводились на старовозрастных отвалах Кедровского угольного разреза, где были осуществлены посадки древесных растений. В качестве контроля взяты посадки на территории Кузбасского ботанического сада (г. Кемерово).

Для исследования были выбраны виды, широко используемые в озеленении г. Кемерово: клен приречный (*Acer ginnala* Maxim. ex Rupr.), дуб черешчатый (*Quercus robur* L.), липа сердцевидная (*Tilia cordata* Mill.), рябина сибирская (*Sorbus sibirica* Held.), сирень венгерская (*Syringa josikaea* J. Jacq. ex Reichenb.) и ясень пенсильванский (*Fraxinus pennsylvanica* Marshall), облепиха крушиновидная (*Hippophae rhamnoides* L.). У древесных растений ежегодно в августе проводились измерения высоты и диаметра ствола. Повторность составляла от 12 до 24 у разных видов.

Так, за пять лет высота клена приречного в контроле составила 230 см, на отвале за этот срок она не увеличилась по сравнению с высотой во время посадки и составила 71 см. Жизненное состояние растений угнетенное, оно не достигает высоты, которой достигает на зональных почвах, возобновление замещающими побегами незначительное. Диаметр стволика так же незначителен (табл.)

Таблица. Биометрические показатели роста растений

Вид	Пок-ли	Отвал						Контроль					
		Годы исследований						Годы исследований					
		1н	2	3	4	5	6	1н	2	3	4	5	6
<i>Acer ginnala</i>	Н, см	78	54	62	75	55	71	80	125	168	194	215	230
	Øст., мм	8	9	9,0	10	11	13	9	17	26	34	48	55
<i>Quercus robur</i>	Н, см	48	35	44	62	66	70	50	92	144	210	256	285
	Øст., мм	8	9	10	15	18	19	9	22	34	47	61	70
<i>Tilia cordata</i>	Н, см	74	48	55	60	58	78	72	145	233	287	369	415
	Øст., мм	9	11	13	13	15	15	8	24	40	58	72	87
<i>Sorbus sibirica</i>	Н, см	75	54	102	126	159	197	78	126	155	202	248	280
	Øст., мм	10	14	17	22	24	25	9	17	24	31	38	44
<i>Syringa josikaea</i>	Н, см	52	42	50	68	74	91	48	90	134	173	222	241
	Øст., мм	7	9	9	12	12	13	6	14	22	30	39	44
<i>Fraxinus pennsylvanica</i>	Н, см	82	80	87	108	110	128	80	168	247	330	425	480
	Øст., мм	8	12	16	18	21	23	9	26	44	62	88	96
<i>Hippophae rhamnoides</i>	Н, см	38	90	133	147	177	194	42	73	138	150	212	252

Примечание: 1н - год посадки растений, Н - высота растений, Øст. - диаметр ствола

Дубы в озеленении Кемерово встречаются не часто, они не достаточно зимостойки как в условиях города, так и на отвалах [5]. В условиях ботанического сада высота дуба черешчатого достигла 3 м, а в условиях отвала 70 см. Растения на отвале не повреждаются морозом, но имеют карликовый рост (табл.).

Липа сердцевидная в условиях отвала достигла высоты в среднем 78 см, в контроле высота деревьев превышает 4 метра. Диаметр ствола в контроле составляет около 9 см, в то время как на отвале он не более 1,5 см.

Рябина на территории ботанического сада достигла высоты 280 см, а на отвале почти 2 м. Следует отметить, что после посадки на второй год высота растений на отвале стала ниже, чем при посадке растений. Это было связано с отмиранием побегов, ухудшением общего жизненного состояния. В последующие годы появились побеги замещения, которые обладают значительными темпами прироста в высоту. Около половины высаженных на отвалах растений цветут и плодоносят.

На территории ботанического сада сирень венгерская за пять лет выросла в среднем до отметки 240 см. В условиях горных пород отвалов сирень достигла высоты 91 см. Из 16 штук высаженных растений 2 экземпляра в последний год исследований плодоносят.

Высота ясеня пенсильванского за пять лет увеличилась на 44 см, в то время как на территории ботанического сада на 4 м. Увеличение диаметра стволов в условиях отвала замедленное, по сравнению с контрольными посадками в благоприятных условиях.

Увеличение высоты облепихи крушиновидной на отвалах достигла экологического оптимума к четвертому году исследований и он составил около 2 м высоты. Темп роста облепихи крушиновидной на отвалах сопоставим с ростом в контроле (табл.)

Особенностью выбора площадок для посадки растений на отвале заключались в подборе наиболее оптимальных условий с хорошей увлажненностью техноземов и большим количеством мелкозема, присутствие которого является залогом потенциального плодородия [6]. Большинство растений, испытанных на отвале, не погибли, но приобрели карликовую форму и причиной этого явления является недостаток элементов минерального питания.

У рябины сибирской на отвале отмечался период латентной адаптации, который продолжался три года, а затем она восстановила форму роста и по темпам прироста в высоту сравнялась с контрольными растениями.

Единственная порода, не требующая адаптации на отвалах - облепиха крушиновидная, которая обладает высокой способностью к симбиозу с микроорганизмами, она обладает практически теми же темпами роста, что и на черноземной почве ботанического сада.

В неблагоприятных условиях (отвалы) многие древесные виды отличаются более низкой высотой и замедленным ростом, но, не смотря на это, они также цветут и плодоносят. Ни одно из высаженных на отвале растений за время исследований не погибло.

Литература

1. Полетаев А.И. О математических моделях роста // Физиология приспособления растений к почвенным условиям. Новосибирск: Наука. 1973. С. 7–25
2. Куприянов А.Н., Михайлов В.Г. Закономерности роста древесных растений в экстремальных условиях // Научно-практические проблемы промышленной ботаники в Казахстане. Караганда. 1991. С. 53–54
3. Куприянов А.Н., Манаков Ю.А., Баранник Л.П. Восстановление экосистем на отвалах горнодобывающей промышленности Кузбасса. Новосибирск: Акад. Изд-во «Гео», 2010. – 160 с.
4. Корнясова Н.А. Проблемы промышленной ботаники индустриально развитых регионов: Материалы докладов III Международной конференции. Кемерово КРЭОО «Ирбис», 2012. С. 44–46
5. Манаков Ю.А., Куприянов А.Н., Баранник Л.П. Оценка выращивания древесных пород на отвалах угольных предприятий Кузбасса // Вестник КрасГАУ. Вып. 4, 2009. – С. 94–99
6. Андроханов В.А., Овсяникова С.В., Курачев В.М. Техноземы. Свойства, режимы, функционирование. Новосибирск: Из-во СО РАН, 2000. – 200 с.

ВЛИЯНИЕ КАЧЕСТВА ОПАДА НА СООБЩЕСТВО МИКРОАРТРОПОД В ЛИСТВЕННИЧНЫХ ЛЕСАХ

А.В. Кондратова, *kondratova.ava@gmail.com*

Институт геологии и природопользования ДВО РАН, Благовещенск

Глобальные изменения климата и антропогенные нарушения изменяют структуру растительных сообществ [1], что может отразиться на сообществе почвенной фауны. Лиственничники в зоне прерывистой мерзлоты наиболее подвержены климатическим изменениям из-за таяния мерзлоты, также они часто нарушаются пожарами и рубками. Выявление факторов, влияющих на плотность и состав сообщества почвенной фауны в лиственничной экосистеме необходимо для прогнозирования современной динамики этих лесов [2]. Однако, неизвестно, является ли тип опада фактором, контролирующим сообщество микроартропод в лиственничниках.

В лесных почвах численно доминируют такие микроартроподы, как клещи и коллемболы [3]. Показано, что коллемболы и клещи ускоряют скорость разложения органического вещества на 10–20 % [4]. Микроартроподы способствуют разложению органического вещества непосредственно через физическое разрушение и потребление мелких фрагментов опада, а также через стимуляцию микробной активности [5, 6]. Исследования показывают, что плотность и состав сообщества микроартропод может изменяться в зависимости от типа опада и времени разложения. Двухлетний полевой эксперимент показал, что численность клещей и коллембол была выше в разлагающейся травяной подстилке, чем в кукурузной [7]. При этом, плотность микроартропод и состав сообщества были связаны с изменением химического состава опада во время разложения. В полевом эксперименте в борельном ельнике (зона южной тайги) показано предпочтительное заселение микроартроподами листьев липы в отличие от хвои ели [8].

Опад растений обеспечивает как пищу, так и среду обитания для почвенной фауны [2]. Так, мезофауна (коллемболы, клещи), перемещающаяся через сеть пор органического слоя, может в большей степени контролироваться размером и формой подстилки, чем микрофауна, населяющая водную пленку вокруг частиц подстилки [2]. В зоне прерывистой мерзлоты на востоке Евразии преобладают лиственничники с участием березы и осины, в которых основными типами опада являются хвоя, листья и трава. Различающийся химический состав и физические характеристики этих типов опада могут влиять на их привлекательность для микроартропод. Целью было выявить, как качество опада в бореальном лиственничнике влияет на численность и структуру сообщества микроартропод (коллемболы, клещи). Исследуя способность коллембол и клещей заселять разные типы опада в процессе разложения, мы стремились лучше понять, какие факторы будут играть доминирующую роль в изменении сообщества почвенных микроартропод при сдвигах в растительном составе лиственничников в результате изменения климата и антропогенных нарушений.

Исследования проведены в Зейском государственном природном заповеднике, который занимает восточную часть хребта Тукурингра на Дальнем Востоке России в естественном ненарушенном лиственничнике бруснично-разнотравном с участием березы и осины (*Larix gmelinii* (Rupr.) Rupr, *Betula platyphylla*, *Populus* sp.). Почвы исследуемой территории представлены буроземами грубогумусовыми (Cambisols). Влияние типа опада на популяцию микроартропод изучали в полевом “litterbag” эксперименте, в котором использованы основные типы опада, характерные для лиственничников зоны исследования: листья березы плосколистной *Betula platyphylla* Sukacz. (листья), хвоя лиственницы Гмелина *Larix gmelinii* (Rupr.) Rupr.) (хвоя), надземная часть трав (майник средний *Maianthemum intermedium* Worosch., вейник *Calamagrostis* sp. и осока шаровидная *Carex globularis* L.) (трава). Для исследования

заселения микроартроподами разных типов опада использованы мешочки 100×100 мм с герметичными краями. Они изготавливались из двух видов материала: верхняя часть из капроновой сетки с размером ячеек 2 мм обеспечивала доступ почвенной фауны, нижняя - из нейлоновой ситовой ткани, с размером ячеек 35 мкм предотвращала вымывание фрагментов разлагающегося опада. В мешочек помещали 4 г опада. Для каждого варианта эксперимента мешочки с 3 типами опада размещали на 7 площадках в пространстве в случайном порядке, соблюдая расстояние между мешочками не менее 10 см. Мешочки раскладывали на поверхности лесной подстилки, слегка прикрывая свежим опадом, для лучшей фиксации на поверхности. В дату отбора вынимали по 7 мешочков каждого вида опада по одному с площадки. Первый учет микроартропод произведен через 365 дней после начала эксперимента, второй – на 730 день от начала эксперимента. Микроартроподы извлекались в лабораторных условиях на эклаторах по стандартной методике. Все образцы были отсортированы и подсчитаны с помощью микроскопа ЛОМО МСП. Статистическая обработка данных проведена в программе R.

Всего за период исследования из экспериментальных образцов извлечено 5213 микроартропод. Численность клещей и коллембол (особей на гр подстилки) увеличивалась со временем разложения во всех типах опада и была максимальной к концу второго года эксперимента. С точки зрения изменения характеристик опада как среды обитания, уменьшение размера пор или объема подстилки из-за разложения может негативно повлиять на микроартропод [2]. Однако мы наблюдали увеличение численности коллембол и клещей со временем разложения во всех типах опада, что свидетельствует о большей роли химического изменения опада [6], чем его физических характеристик на заселение микроартропод.

Мы не установили статистически значимых различий ($p < 0.05$) в количестве клещей и коллембол между типами опада ни в один срок эксперимента (рис. 1). Однако в течение двух лет наблюдалась тенденция к снижению количества клещей в листьях березы по сравнению с хвоей лиственницы и травой. Наши результаты отличаются от данных, полученных в бореальном ельнике в зоне южной тайги, где показано предпочтительное заселение клещами и коллемболами листьев липы в отличие от хвои ели [8]. Авторы отмечают, что в листовом опаде разложение листовых пластинок завершается практически к концу первого года, и это согласуется с высоким обилием микроартропод в листьях, чем в хвое ели. Показано также, что в хвое и на второй год продолжается активная деструкция и в ней сохраняется повышенный уровень беспозвоночных. Столь контрастные результаты экспериментов свидетельствуют о различном поведении микроартропод в вечнозеленых и листопадных хвойных лесах. Вероятно, это связано с тем, что хвоя лиственницы по химическим и физическим характеристикам ближе к листовому опаду, чем к хвое вечнозеленых деревьев, о чем свидетельствует близкое содержание углерода и азота в хвое лиственницы и листьях березы [9].

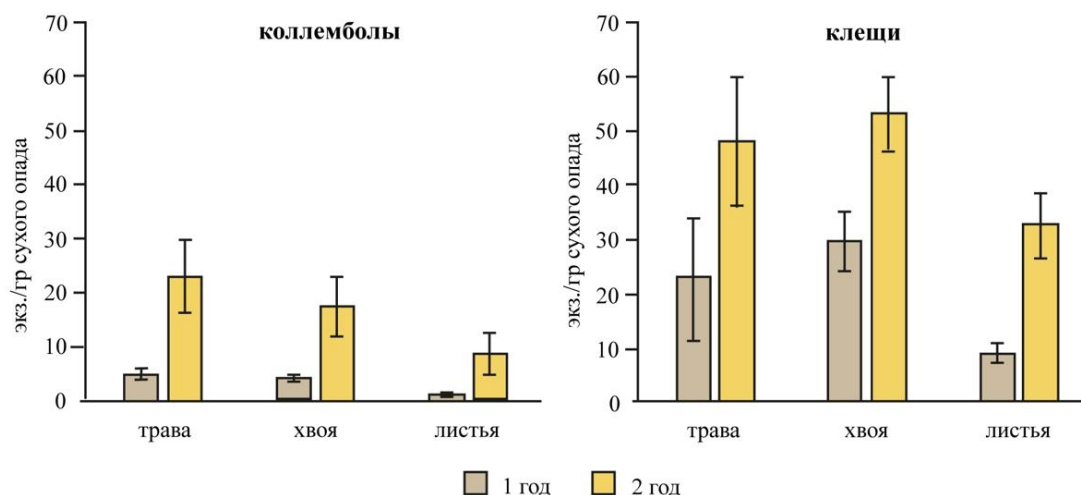


Рис. 1. Количество коллембол и клещей в опаде после первого и второго года разложения. Планки погрешностей отражают ошибки средних величин ($n=7$).

Соотношения клещей и коллембол в процессе разложения мало зависело от типа опада, но было связано со временем разложения (рис. 2). В сообществе микроартропод после первого и второго года разложения установлено доминирование клещей. Однако в отличие от результатов трехлетнего исследования по разложению листьев и корней (Киото, Япония) [6]), где доля клещей со временем разложения увеличивалась, наш эксперимент показал снижение доли клещей во второй год разложения. В эксперименте с наземным и подземным разложением опада [6] изменение в соотношении клещей и коллембол в большей степени определялось абиотическими условиями, а не типом опада.

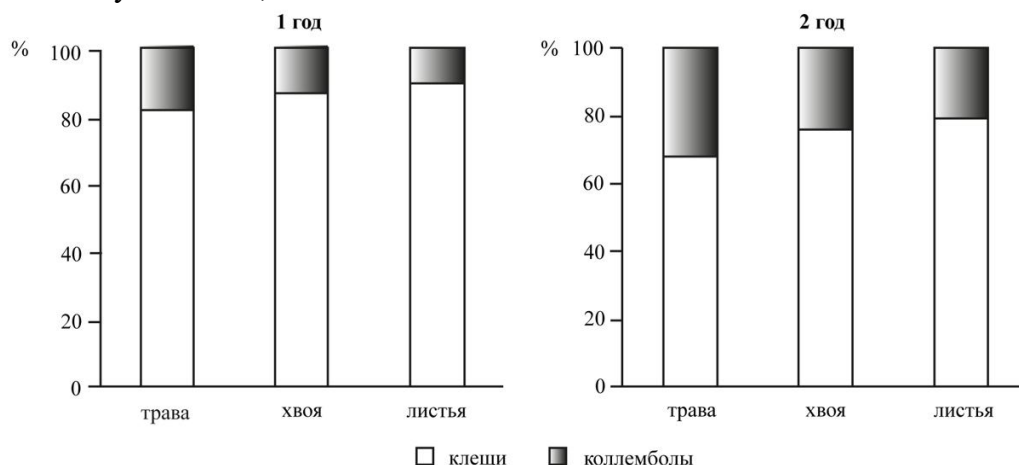


Рис. 2. Соотношение коллембол и клещей в опаде после первого и второго года разложения.

Таким образом, исследование в бореальном лиственничнике показало, что не качество опада (хвоя лиственницы, листья березы, трава), а срок разложения являлся основным фактором, контролирующим численность и соотношение клещей и коллембол в сообществе микроартропод, по крайней на этапе раннего разложения. Однако устойчивая тенденция к снижению количества клещей и коллембол в листьях березы по сравнению с хвоей лиственницы и травой в течении двух лет разложения свидетельствует о том, что сдвиг в видовом составе растительного сообщества в результате климатических изменений и антропогенных нарушений может изменить сообщество почвенных микроартропод, участвующих в разложении опада в лиственничных лесах на Дальнем Востоке России.

Литература

1. Orwin, K.H., Buckland S.M. et al. Linkages of plant traits to soil properties and the functioning of temperate grassland // *Journal of Ecology*. 2010. № 98. P. 1074–1083.
2. Fujii S., Berg M.P., Cornelissen J.H.C. Living litter: dynamic trait spectra predict fauna composition // *Trends Ecol Evol*. 2020. № 35. P. 886–896.
3. Takeda H., Abe T. Templates of food-habitat resources for the organization of soil animals in temperate and tropical forests // *Ecol. Res*. 2001. №. 16. P. 961–973.
4. Hattenschwiler S., Gasser P. Soil animals alter plant litter diversity effects on decomposition // *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2005. № 102. P. 1519-1524.
5. Soong J.L., Nielsen U.N. The role of microarthropods in emerging models of soil organic matter // *Soil Biol. Biochem*. 2016. № 102. P. 37–39.
6. Fujii S., Takeda H. Succession of soil microarthropod communities during the aboveground and belowground litter decomposition processes // *Soil Biol. Biochem*. 2017. № 110. P. 95-102.
7. Wickings K., Grandy A.S. Management intensity interacts with litter chemistry and climate to drive temporal patterns in arthropod communities during decomposition // *Pedobiologia*. 2013. № 56. P. 105-112.
8. Rakhleeva A.A., Semenova T.A. et al. Dynamics of zoomicrobial complexes upon decomposition of plant litter in spruce forests of the southern taiga // *Eurasian Soil Sci*. 2011. № 44. P. 38–48.
9. Kondratova A.V., Abramova E.R., Bryanin S.V. Decomposition of main litter types and nitrogen release in post-fire larch forests of the Russian Far East // *Contemporary Problems of Ecology*. 2021. V. 14. № 2. P. 171-181.

ДИНАМИКА СОСНОВЫХ ЛЕСОВ В СЕРЕБРЯНОБОРСКОМ УЧАСТКОВОМ ЛЕСНИЧЕСТВЕ МОСКОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Д.В.Лежнев¹, Д.Дубей¹, Ю.Б.Глазунов², С.А.Коротков^{1,2}, lezhnev.daniil@yandex.ru

¹ МФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Мытищи

² Институт лесоведения РАН, с. Успенское

Леса Серебряноборского лесничества имеют очень важное водоохранно-защитное значение. В настоящее время наблюдается приближение массовых городских застроек к лесничеству, и как следствие, возрастание рекреационного лесопользования. Всё это оказывает преимущественно негативное влияние на лесные экосистемы [1].

Сосняки вместе с ельниками и березняками господствуют среди лесных насаждений Московского региона. В Подмоскovie сосну можно встретить практически в любых условиях произрастания. В основном, это одновозрастные, часто искусственные насаждения различного породного состава и строения. В то же время, исследования в Серебряноборском лесничестве Института лесоведения РАН показали условно-разновозрастный характер отдельных сосняков с разницей в возрасте деревьев до 40 лет, что свидетельствует об их естественном происхождении. Однако, не исключено, что формирование сосняков в Серебряноборском лесничестве Института лесоведения РАН и предотвращение зарастания лиственными породами обеспечивались лесохозяйственными уходами [2].

Изучение процессов функционирования лесных экосистем должно основываться, прежде всего, на познании организующей роли их структуры, которая оказывает влияние на интенсивность и характер возобновления леса [3]. Данные исследования являются необходимой предпосылкой объяснения их функциональной деятельности [4].

Объектами наблюдения были пробные площади, расположенные в Серебряноборском лесничестве Института лесоведения РАН. Целью данной работы является выявление закономерностей динамики структуры сосновых насаждений ближнего Подмоскovie.

Для достижения данной цели, поставлены следующие задачи:

- исследование характеристик древостоя в различном возрасте;
- выявление тенденций динамики исследуемых насаждений.

На исследуемых постоянных пробных площадях (ППП) осуществлен сплошной пересчет деревьев, в который вошли все экземпляры диаметром 8 см и более. Измерения высоты деревьев проводились с помощью высотомера Vertex III. Для изучения возрастной структуры отбирались керны с помощью возрастного бурава на высоте около 0,3 м. Возраст сосны на исследуемых участках варьирует от 134 до 166 лет. Таксационные характеристики древостоев на пробных площадях приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Таксационные характеристики ППП-5 и ППП-6

Порода	Число деревьев, шт./га	Средний диаметр, см	Средняя высота, м	Запас, м ³ /га
ППП-5. 2004 год/2020 год				
Сосна обыкновенная (<i>Pinus sylvestris</i> L.)	128/116	40,9/46,8	28,0/29,3	212/261
Береза повислая (<i>Betula pendula</i> Roth.)	120/68	17,1/26,2	18,9/26,0	25/45
Дуб черешчатый (<i>Quercus robur</i> L.)	60/40	14,7/17,3	12,7/16,0	3/7
Липа мелколистная (<i>Tilia cordata</i> Mill.)	-/20	-/16,7	-/16,9	-/4
ППП-6. 2004 год/2021 год				
Сосна обыкновенная (<i>Pinus sylvestris</i> L.)	100/100	47,1/56,3	27,3/29,5	215/329
Береза повислая (<i>Betula pendula</i> Roth.)	20/40	14,8/23,7	17,2/25,5	14/21
Дуб черешчатый (<i>Quercus robur</i> L.)	20/20	13,3/23,8	16,7/23,5	2/10
Липа мелколистная (<i>Tilia cordata</i> Mill.)	-/9	-/13,8	-/19,1	-/2

Несмотря на большой возраст сосновых насаждений наблюдается положительная динамика роста соснового элемента леса. Средний диаметр на ППП-5 увеличился на 5,9 см, а на ППП-6 – соответственно на 9,2 см. В то же время высота увеличилась незначительно. Существенный прирост сосны по диаметру обусловил значительное увеличение запаса древостоев. Следует отметить, что за рассматриваемый период на ППП-6 все экземпляры сосны сохранились.

Анализ графика высот на ППП-5 показал, что по мере увеличения диаметров деревьев сосны их прирост в высоту существенно снижается (рис.1).

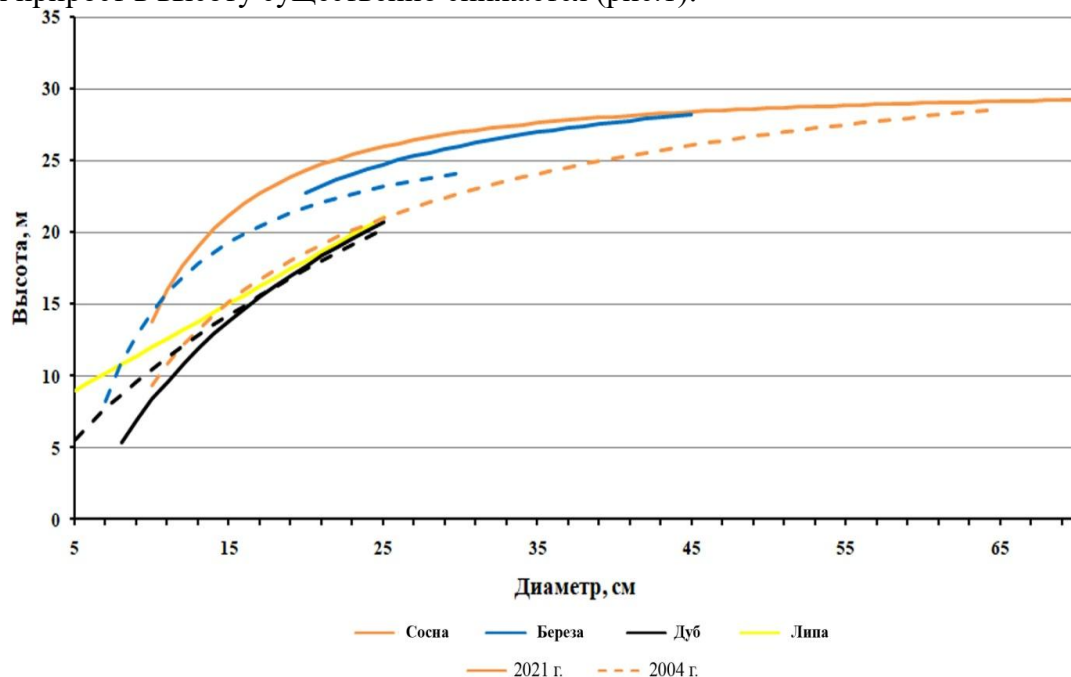


Рис.1 – График высот сосны на ППП-5 2004 и 2020 года

На ППП-6 сосна продолжает расти по высоте при достижении высоты в 29 м (рис.2).

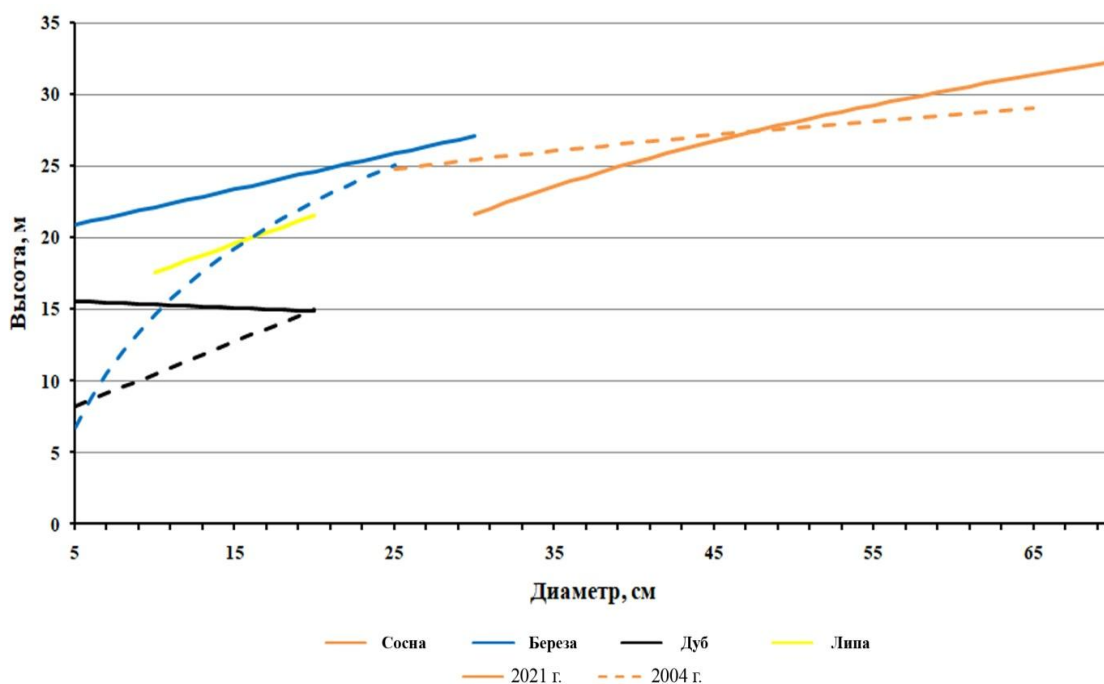


Рис. 2 – График высот сосны на ППП-6 2004 и 2021 года

При перечетах 2020 и 2021 гг. на обеих постоянных пробных площадях в составе второго яруса была отмечена липа, которая при предыдущем перечете находилась в подросте. Берёза и дуб, входящие в состав второго яруса, показали значительный прирост за исследуемый период, что говорит о благоприятных условиях роста под пологом сосны не только теневыносливой липы, но и светолюбивых пород. Прирост в высоту у пород второго яруса обусловлен, прежде всего, локальными условиями освещенности.

Выводы:

1. Варьирование возрастов деревьев сосны на ППП говорит об их естественном происхождении. Вместе с тем, это не исключает возможности проведения лесоводственных уходов в исследуемых насаждениях в молодом возрасте, которые предотвратили зарастание их берёзой.

2. В перспективе береза и липа могут выйти в первый ярус и сменить сосну по мере её естественного распада.

3. Прирост и незначительный отпад сосны указывают на то, что исследуемые сосняки не достигли возраста естественной спелости.

Литература

1. Рысин Л. П. Серебряноборское опытное лесничество: 65 лет лесного мониторинга / [отв. ред.: Б. Р. Стриганова, А. А. Сирин]; Российская акад. наук, Отд-ние биологических наук РАН, Учреждение Российской акад. наук Ин-т лесоведения РАН. – Москва: Товарищество науч. изд. КМК, 2010. – 260 с.
2. Тенденции динамики сосновых лесов в условиях ближнего Подмосковья / Коротков С.А., Глазунов Ю.Б., Чистяков А.Л., Куликова Д.Д. // Научные основы устойчивого управления лесами: матер. IV Всероссийской научной конференции с международным участием. – М.: ЦЭПЛ РАН, 2020. – С. 62–64.
3. Татарников, Д. В. Старовозрастные древостои Серебряноборского лесничества [Электронный ресурс] / Д. В. Татарников, Ю. Г. Львов // Лесохоз. информ. : электрон. сетевой журн. – 2019. – № 4. – С. 79–86.
4. Экология сосновых лесов / В. К. Мякушко, Ф. В. Вольвач, П. Г. Плюта, — К.: Урожай, 1989 — 248 с.

АНАТОМИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ ДРЕВЕСИНЫ ЕЛИ В ДРЕВОСТОЯХ РАЗНОЙ ГУСТОТЫ ПОСАДКИ

В.Д. Ломов, *lomov@mgul.ac.ru*

Мытищинский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана, г.Мытищи, РФ

Повышение продуктивности и устойчивости лесов является важнейшей задачей, стоящей перед лесным хозяйством страны. В системе мер по повышению продуктивности лесов особое значение имеет уход за лесом [2,3]. При проведении ухода за лесом важно знать оптимальную структуру и густоту древостоя. Отсюда, важное значение имеет изучение влияния размещения деревьев и густоты посадки на рост и качество древесины выращиваемых насаждений. На это неоднократно указывали крупнейшие лесоводы и древесиноведы нашей страны. Для повышения продуктивности еловых лесов, улучшения породного состава и качества древесины необходимо исследовать формирование и строение годичных слоев древесной породы в чистых и смешанных древостоях.

Данная работа позволяет выявить взаимосвязь строения древесины ели в древостоях разного состава и размещения с применением анатомического метода исследования, разработанного на кафедре лесоводства и подсочки леса Московского государственного университета леса.

Целью данной работы является установление влияния различных типов лесорастительных условий, а также размещения деревьев на формирование структуры годичного слоя древесины ели.

Объектами исследований были разновозрастные искусственные насаждения ели европейской в типах леса ельник – кисличник, ельник – черничник и ельник – черничник влажный, Свердловского лесничества, Щёлковского учебно-опытного лесхоза в возрасте от 25 до 60 лет.

Для исследования анатомического строения годичных слоев в каждом варианте по густоте (варианты по первоначальной густоте посадки: 2,6 тыс. шт. на 1 га; 4,8 тыс. шт. на 1 га и 9,2 тыс. шт. на 1 га) были отобраны три модельных дерева. Модельные деревья в древостое подбирали с учетом их первоначального размещения в древостое. Образцы древесины брали на высоте груди (1,3 м) в направлении вдоль и поперек ряда. Обработка микросрезов проведена по общепринятой методике. Для получения не менее 5%-ной точности опыта было проведено по 25 – 30 измерений каждого анатомического элемента.

Анатомическое строение древесины ели состоит из: сердцевины, трахеид разных размеров, сердцевинных лучей, смоляных ходов и древесной паренхимы [1,4,5].

Серцевина состоит из довольно крупных паренхимных клеток с тонкими одревесневшими стенками и большими простыми порами. Клетки имеют форму неправильных многогранников, примерно одинаковых размеров по трем направлениям. Вокруг сердцевины расположена однообразно построенная древесина. В ее составе только два анатомических элемента - трахеиды и паренхимные клетки.

Трахеиды имеют форму сильно вытянутых в длину веретенообразных клеток (волокон) с утолщенными и одревесневшими стенками и косо срезанными концами. С началом вегетационного периода из клеток камбия формируются тонкостенные трахеиды с большими полостями, выполняющие проводящую функцию и образующие более светлую, рыхлую зону ранней древесины. Во второй половине вегетационного периода образуется зона поздней, более темной древесины состоящая из толстостенных трахеид с малыми полостями, что определяет ее большую плотность. Поздние трахеиды выполняют больше механические функции, чем проводящие.

Трахеиды ранней и поздней зоны, кроме толщины стенок и размера полостей отличаются количеством и размером окаймленных пор на радиальных стенках, через которые происходит сообщение между клетками. Окаймленных пор больше в трахеидах ранней зоны и они крупнее, чем в трахеидах поздней зоны.

Вторым анатомическим элементом являются паренхимные клетки, образующие живую ткань - паренхиму, главным образом лучевую. Ее клетки образуют сердцевинные лучи - ряды из паренхимных клеток, идущие горизонтально по радиусам ствола. Лучи могут состоять лишь из паренхимных клеток (гомогенные лучи), или содержать не считая паренхимных клеток горизонтальные лучевые трахеиды (гетерогенные лучи). У хвойных пород сердцевинные лучи узкие, однорядные (кроме лучей, в которых образуются горизонтальные смоляные ходы), а их высота по числу клеток колеблется. Горизонтальные (лучевые) трахеиды по размерам близки к паренхимным клеткам, но малочисленны по сравнению с последними. В отличие от паренхимных клеток лучевые трахеиды имеют окаймленные поры. Серцевинные лучи проводят растворы питательных веществ в горизонтальном направлении.

В древесине ели находятся также эпителиальная паренхима, образующая смоляные ходы (смоляные каналы), и сопровождающая их паренхима. Смоляные ходы - это межклеточные каналы, заполненные живицей (смолой). Распознают вертикальные и горизонтальные смоляные каналы, образующие единую смолоносную систему. Вертикальные каналы размещаются чаще в поздней зоне годовичного кольца и образуются 3-мя слоями клеток: внутренним выстилающим слоем живых эпителиальных клеток; слоем мертвых клеток, заполненных воздухом; слоем живых клеток сопровождающей паренхимы, с течением времени отмирающих. Диаметр вертикальных смоляных ходов составляет 0,10-0,14 мм. Их можно заметить и невооруженным глазом.

Результаты исследований по данной проблеме могут быть использованы при разработке программы по целевому выращиванию древостоев заданного качества для потребностей целлюлозно-бумажной промышленности и сертификации древесины. Выполненная работа позволяет дать рекомендации по целенаправленному формированию древесины ели через изменения состава древостоя с помощью ухода за лесом.

При анализе экспериментальных данных видно, что густота древостоя существенно влияет на общую ширину годовичных слоев древесины ели. Так, разница в этом показателе между вариантами достигает 100 – 120%. При рассмотрении влияния размещения деревьев в древостое видно, что ширина годовичных слоев ели практически не изменяется в связи с направлением взятия образца древесины.

Густота древостоя существенно влияет на процент поздней древесины в годовичных слоях. Наиболее выражен этот слой древесины в древостоях ели с первоначальной густотой посадки в 9,2 тыс. шт. сеянцев на 1 га (3-й вариант опыта), что указывает на лучшее качество древесины при этой густоте. В древостоях 1-го и 2-го вариантов опыта процент поздней древесины в слое выше в направлении вдоль ряда по сравнению с древесиной, сформированной в слое поперек ряда. Эта разница статистически достоверна. В еловом древостое с первоначальной густотой посадки 9,2 тыс. шт. сеянцев на 1 га (3-й вариант опыта) разница между содержанием поздней древесины в направлении вдоль ряда и поперек статистически недостоверна. Это характерно для всех вариантов опыта по густоте древостоя.

Опытные данные приведены для деревьев ели (средние показатели за последние 10 лет), расположенных в древостое в настоящее время так же, как и во время посадки. При рассмотрении динамики формирования анатомических элементов по этим годам видно, что выводы, сделанные по средним данным, справедливы и по каждому отдельно взятому году формирования древесины. Наибольшим процентом поздней древесины обладают культуры с густотой 9,2 тыс. шт./га (25,8% и 25,1 %), а наименьшим – 2,6 тыс. шт./га (14,7 % и 12,7%). Это говорит о том, что в нашем опыте культуры ели с густотой посадки 9,2 тыс. шт./га обладают наивысшим качеством древесины по сравнению со всеми вариантами опыта. Также следует отметить, что образцы взятые вдоль ряда имеют больший процент поздней древесины в годовичных слоях, чем у образцов, взятых поперек ряда.

Основные выводы по результатам исследований:

1. Густота древостоя влияет на анатомическое строение годовичных слоев ели, особенно на процент поздней древесины. С увеличением густоты формируется древесина с более высоким содержанием поздней древесины. Редкая посадка деревьев ели приводит к увеличению прироста по диаметру насаждений. Лучшая по качеству древесины в нашем опыте формируется в древостое с первоначальной густотой посадки 9,2 тыс. шт. на 1 га.

2. Процент поздней древесины ели в годовичных слоях в древостоях с первоначальной густотой 2,6 и 4,8 тыс. шт. на 1 га зависит от размещения деревьев в древостое. Слой древесины, сформированный в направлении вдоль ряда, имеет больший процент поздних трахеид.

3. Одним из основных факторов, влияющих на строение древесины ели является состав древостоя. Процесс формирования годовичных слоев у ели при одном и том же возрасте древостоев в одинаковых типах леса по разному идет в смешанных древостоях из ели и березы различного состава.

4. Оптимальные условия для формирования годовичных слоев у ели создаются в древостоях состава 8Е2Б. В этом случае у деревьев ели формируются наиболее широкие годовичные слои и с большим содержанием поздней древесины.

Литература

1. Мерзленко, М.Д., Ломов, В.Д. Анатомическое строение годовичных слоев ели в связи с разной густотой и размещением. Научные Труды МГУЛ 1982 – вып. 139. с. 21 – 23.
2. Обыденников, В.И., Коротков, С.А., Ломов, В.Д., Волков, С.Н. Лесоводство. Учебник для направления подготовки 35.03.01 «бакалавр лесного дела». – М.: ФГБОУ ВПО МГУЛ, 2015. – 272 с.
3. Обыденников, В.И., Ломов, В.Д. Лесоводство. Учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению подготовки дипломированных специалистов 250400 Технология лесозаготовительных и деревоперерабатывающих производств по специальности 250401 "Лесоинженерное дело Москва. – М.: ФГБОУ ВПО МГУЛ, 2011. – 282 с.
4. Пинчук, А.М., Ломов, В.Д. Влияние густоты сосновых молодняков на анатомические показатели древесины и накопление органической массы. – М.: Научные труды Московского лесотехнического институтка. 1973. № 49.с. 38-42.
5. Эсау, К. Анатомия растений. – М., Изд-во Мир. – 1969. – 660с.

МЕДЬ, ЕЁ ДИНАМИКА И ВЗАИМООТНОШЕНИЯ С ПОЧВЕННЫМИ СВОЙСТВАМИ В ПОЙМЕННОЙ ХРОНОКАТЕНЕ

А.В. Мартынов, *lexxM@ascnet.ru*

Институт геологии и природопользования ДВО РАН, Благовещенск

Медь, будучи незаменимым компонентом в различных ферментативных процессах, протекающих в растительных и животных организмах, является жизненно важным микроэлементом. В организме человека медь участвует в формировании эритроцитов, восстановлении костной ткани, усиливает действие инсулина, способствует синтезу витаминов В, С, Р, РР, Е и гемоглобина [1]. В растениях участвует в фотосинтезе и метаболизме углеводов, белков и клеточных стенок, а также играет центральную роль в ассимиляции [2]. Вместе с тем, избыток меди токсичен и приводит к изменениям в ДНК, целостности клеточной мембраны, нарушению процессов дыхания и фотосинтеза у растений, перерождению клеток печени и анемии у человека и животных [3, 4].

Двоякая роль меди диктует необходимость в контроле за её содержанием в основном источнике для живых организмов – почве. В этом аспекте, наибольший интерес представляют почвы, формирующиеся в пределах пойм. Поймы являются природной дренажной системой на пути глобального круговорота веществ, т.к. через них осуществляется транспорт макро- и микроэлементов с суши в реки, а затем в моря и океаны. Поэтому поймы - одни из самых биологически продуктивных и плодородных ландшафтов, что обуславливает их высокую вовлеченность в хозяйственную деятельность человека по всему миру. В результате, поток химических веществ, биогенных элементов, металлов, в том числе и меди, через поймы увеличивается с каждым годом, что часто приводит к загрязнению пойменных почв [5].

Также, при геохимических исследованиях необходимо учитывать, что пойменные почвы находятся в сложных взаимодействиях с окружающей средой. Это наиболее молодые и динамичные участки суши подверженные сильному воздействию геологических и биологических факторов и находящиеся в состоянии ярко выраженного изменения и становления [6]. В поймах, в пределах небольшой территории, можно встретить почвенные формирования разные не только по морфологии и свойствам, но и по возрасту, что дает возможность проследить геохимические процессы, протекающие в пойме во времени.

Объект и методы исследования

Объектом исследования являлись почвы, развитые в пределах поймы среднего течения р. Амур, в Михайловском районе между селами Куприяново-Калинино (рис. 1). Места закладки определялись пойменным рельефом и удаленностью от русла, так чтобы почвы сформировали два ряда: автоморфный и гидроморфный. Соотношение интразональных и зональных процессов, характеризующих возраст почв, определялось по морфологическим критериям.

Всего было заложено 13 почвенных разрезов. В каждом разрезе по генетическим горизонтам были отобраны почвенные образцы, суммарно 38. Названия почв давались в соответствии с Классификацией и диагностикой почв России [7]. Были выделены: аллювиальная серогумусовая и аллювиальная перегнойно-глеевая почвы, входящие в отдел аллювиальных почв; аллювиальная слоистая почва, относящаяся к отделу слаборазвитых почв; остаточно-пойменный брунезём из отдела структурно-метаморфических почв.

Свойства аллювиальных почв определяли в Аналитическом центре минералого-геохимических исследований ИГиП ДВО РАН. Были определены гранулометрический состав пипеточным методом по Н.А. Качинскому, органическое вещество – методом мокрого озоления по И.В. Тюрину, pH_{KCl} – потенциометрическим методом по ГОСТ – 26483-90, обменные катионы: Ca^{+2} и Mg^{+2} – комплексонометрическим методом по К.К. Гедройцу, H^{+} и Al^{+3} – методом А.В. Соколова.

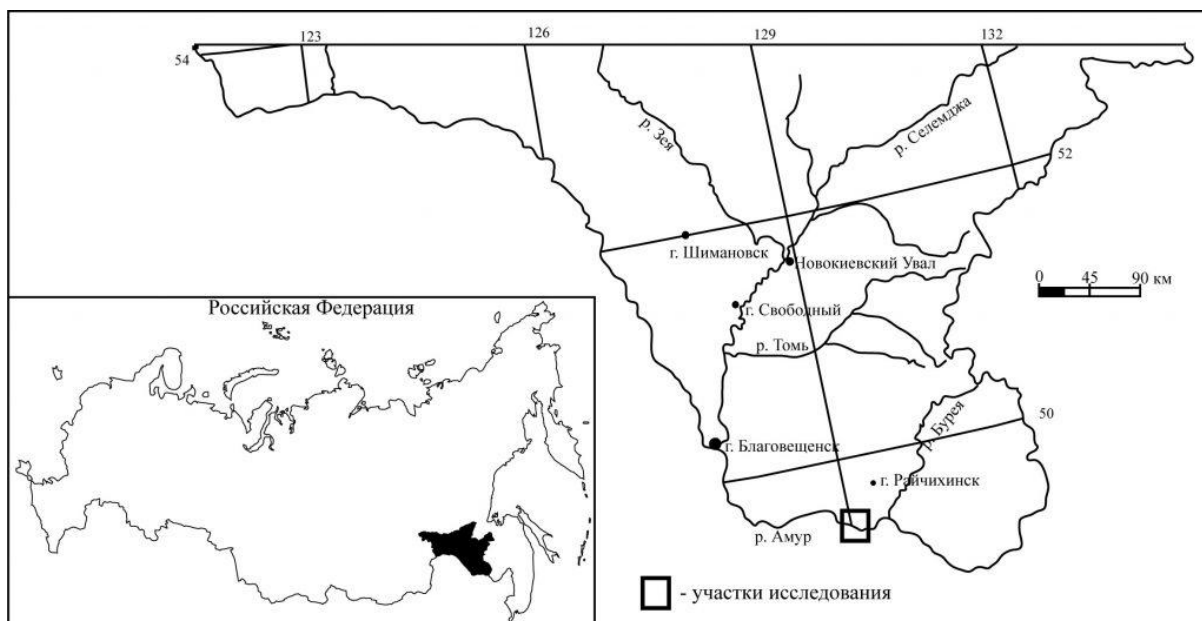


Рис. 1 – Схема расположение участка исследования

Подвижные формы фосфора в 0,2HCl – методом А.Т. Кирсанова, марганца в формальдоксиде по ГОСТ 26486-85 и железа о-фенантролиновым методом. Аморфные формы железа и алюминия в вытяжке Тамма. Все анализы были проведены общепринятыми методиками [8].

Определение валовой и подвижной форм меди было выполнено в аналитическом центре коллективного пользования на базе ДВГИ ДВО РАН. Анализ был выполнен на квадрупольном масс-спектрометре с индуктивно связанной плазмой (ИСП-МС) Agilent 7700x (Agilent Technologies, Япония).

Возраст почв определялся в ЦКП «Лаборатория радиоуглеродного датирования и электронной микроскопии» при Институте географии РАН. Из десяти отправленных образцов датирующую фракцию углерода в необходимом количестве извлекли только из шести. Но этого было достаточно, чтобы построить хронологический ряд аллювиальных почв исходя из их гипсометрического расположения и морфологических особенностей.

Статистическая обработка данных проводилась в программе Statistica v.10.

Результаты исследования

В ходе проведенных исследований установлено, что содержание меди в почвах поймы р. Амур в ходе их эволюции увеличивается (рис. 2). В автоморфных почвах среднее содержание валовой формы меди за 5000 лет увеличивается с 6 до 24 мг/кг, а подвижной формы за 4000 лет с 0,03 до 0,3 мг/кг. В гидроморфных почвах за 2600 лет среднее содержание меди увеличилось с 6 до 24 мг/кг, а подвижной формы за 1000 лет с 0,03 до 0,3 мг/кг.

Накопление меди в пойменных почвах с возрастом обусловлено тем, что медь малоподвижный элемент и не подвержен интенсивной миграции. Также, пока в пойменных почвах преобладали интразональные процессы, медь дополнительно поступала в почвы с аллохтонным веществом и сорбировалась из речных вод, что обусловило более интенсивное накопление меди в гидроморфных почвах. По литературным данным, большое значение в накоплении меди имеет атмосферный перенос, который в некоторых случаях может даже превышать отчуждение меди из почв [9].

Оценка взаимосвязей меди с почвенными свойствами проводилась с использованием статистического метода – принцип главных компонент. На факторной плоскости валовая форма меди в автоморфных почвах ближе всего расположена к гранулометрическому составу и оксидам железа, в гидроморфных почвах к ЕКО и оксидам алюминия (рис. 3). Подвижная форма меди на факторной плоскости в автоморфных почвах расположена возле подвижного железа и оксидов алюминия, а в гидроморфных почвах возле гранулометрического состава и подвижного железа (рис. 3). Эти закономерности дают основание сделать ряд заключений.

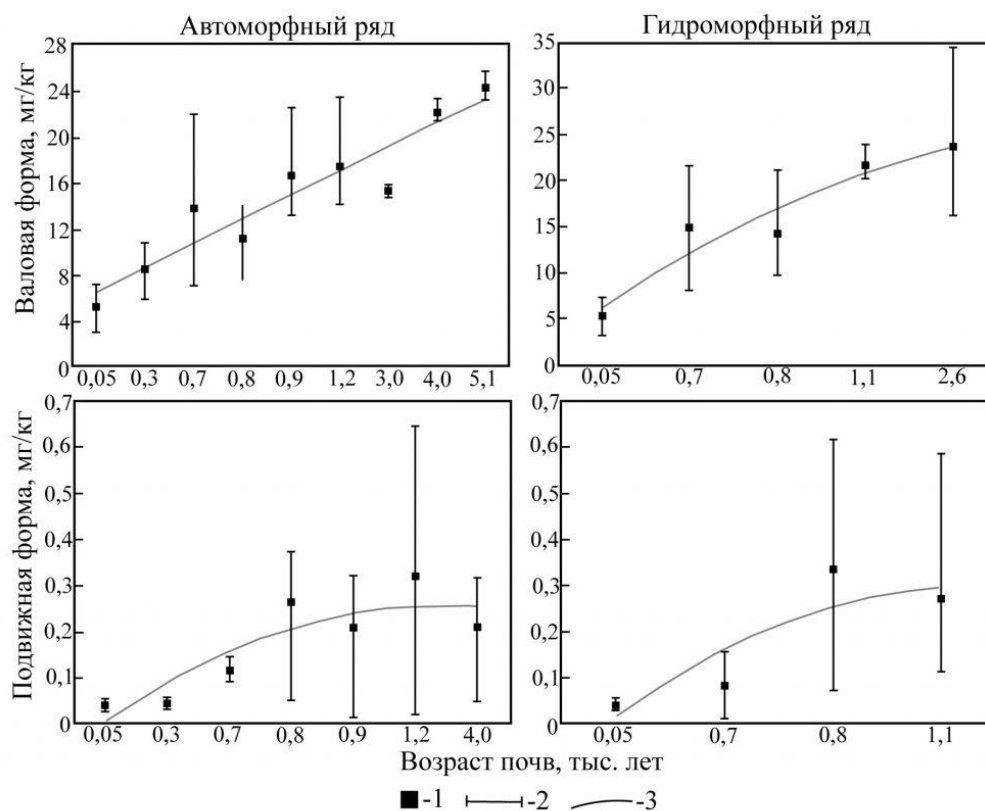


Рис. 2 – Динамика меди в хронокатене (1– среднее содержание в почвенном профиле, 2 – минимум-максимум, 3 – полиномиальная кривая среднего содержания).

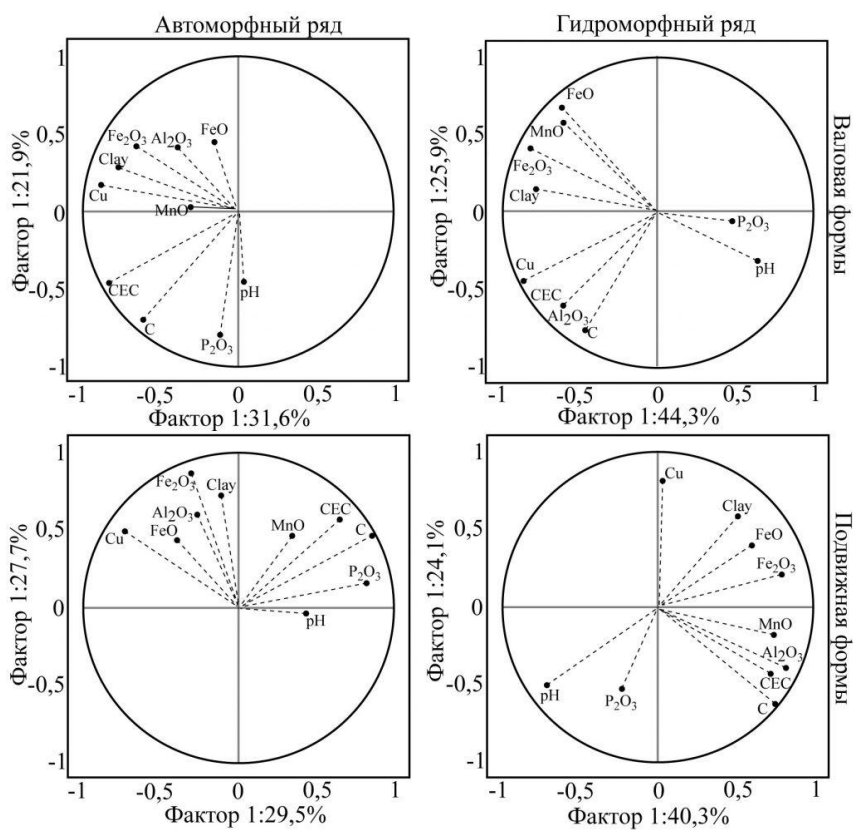


Рис. 3 – Проекция коррелирующих переменных содержания валовой формы меди и свойств пойменных почв на факторную плоскость

Основным фактором, определяющим содержание меди в пойменных почвах р. Амур, является поглотительная способность почв, обусловленная гранулометрическим составом. Следует отметить, что первоочередное значение имеет степень участия в гранулометрическом составе оксидов железа в автоморфных почвах и оксидов алюминия в гидроморфных почвах. Это обусловлено тем, что оксиды и гидроксиды Al и Fe имеют большую склонность к связыванию Cu в неподвижные соединения, которые представляют собой наиболее устойчивую ее форму в почве [10].

В наших исследованиях медь не проявляет сильных связей с pH, хотя по литературным данным именно реакция среды определяет подвижность меди [10]. Но, влияние pH на подвижность меди в почвах сильно зависит от типа и характера её соединений с органическими и минеральными компонентами почв [4] и, вероятно в исследуемых почвах мобилизационные свойства меди более сильно зависят от окислительно-восстановительных свойств почв. Медь играет роль активного центра в биохимических процессах, как акцептор или донор электронов что приводит к изменению степени её окисления [11]. Аналогично ведет себя и железо, которое участвует в глеевых процессах как акцептор электронов для микробного разложения, переходя при этом в подвижную форму [12]. На факторных плоскостях они также расположены рядом (рис. 3). Следовательно, именно развитие восстановительной обстановки в пойменных почвах приводит к мобилизации меди.

Выводы

1. В ходе современной эволюции почв поймы р. Амур содержание валовой формы меди увеличилось на 400% за 5000 лет в автоморфных почвах, и за 2500 лет в гидроморфных. Содержание подвижной формы за эти же промежутки времени увеличилось на 1000%.
2. Основными почвенными свойствами, определяющими содержание и распределение меди в почвенном профиле, являются оксиды и гидроксиды железа и алюминия в отношении валовой формы и окислительно-восстановительный потенциал для подвижной формы.

Литература

1. Прохорова Н.В., Матвеев Н.М. Распределение тяжелых металлов в посевах важнейших сельскохозяйственных культур в Самарской области - Самара: Самарский ун-т, 2006. – 141 с.
2. Burkhead J.L., Reynolds K.A., Abdel-Ghany S.E., Cohu C.M., Pilon M. Copper homeostasis // *The New phytologist*. 2009. Vol.182(4). P. 799–816.
3. Chaffai R., Elhammadi M.A., Seybou T.N., Tekitek B., Marzouk B., Ferjani E. Altered fatty acid profile of polar lipids in maize seedlings in response to excess copper // *Journal of Agronomy and Crop Science*. 2007. Vol. 193. P. 207–217.
4. Mahurpawar M. Effects of heavy metals on human health // *International Journal of Research-Granthaalayah. Social Issues and Environmental Problems*: 09. 2015.
5. Lair G.J., Zehetner F., Fiebig M., et al. How do long-term development and periodical changes of river-floodplain systems affect the fate of contaminants? Results from European rivers // *Environmental Pollution*. 2009. Vol. 157. P. 3336–3346.
6. Добровольский Г.В. Почвы речных пойм центра Русской равнины. – М.: Изд-во. МГУ, 1968. – 296 с.
7. Шишов Л. Л., Тонконогов В. Д., Лебедева И. И., Герасимова М. И. Классификация и диагностика почв России – Смоленск: Ойкумена, 2004. – 341 с.
8. Новицкий М.В., Чернов Д.В., Назаров А.В. Лабораторно-практические занятия по почвоведению: учебное пособие. – Санкт-Петербург: Проспект Науки, 2016. – 320 с.
9. Ballabio C, Panagos P, Lugato E., Huang J.-H., Orgiazzi A., Jones A., Fernandez-Ugalde O., Borrelli P., Montanarella L. Copper distribution in European topsoils: An assessment based on LUCAS soil survey // *Science of the Total Environment*. 2018. Vol. 636. P. 282–298.
10. Kabata-Pendias A. Trace Elements Soils and Plants. – Boca Raton: CRC Press, 2011. – 534 p.
11. Ivanov G.M., Kashin V.K., Ubugunov V.L. Copper in the Main Components of Western Transbaikalia Landscapes // *Geochemistry International*. 2006. Vol. 44(5). P. 494–500.
12. Maranguita D., Guillaume T., Kuzyakova Y. Effects of flooding on phosphorus and iron mobilization in highly weathered soils under different land-use types: Short-term effects and mechanisms // *Catena*. 2017. Vol. 158. P. 161–170.

ПОЧВЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ В ЗОНАХ ТРАНЗИТА И АККУМУЛЯЦИИ СОЛИФЛЮКЦИОННЫХ СКЛОНОВ ЭВЕНКИИ

О.В. Масягина*, С.Ю. Евграфова, В.В. Холодилова, С.Г. Прокушкин

**oxanamas@ksc.krasn.ru*

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Федеральный исследовательский центр
«Красноярский научный центр СО РАН», г. Красноярск

Солифлюкционные процессы являются следствием деградации вечной мерзлоты в высоких широтах в результате изменения климата и способствуют формированию ландшафта через изменение факторов среды, почвы и растительности [1]. Солифлюкция представляет собой сползание перенасыщенного влагой в результате таяния мерзлоты или избытка летних осадков почвенного слоя с растительностью вниз по склону. В течение длительного времени после солифлюкции происходит вымывание грунта и минеральных веществ вниз по склону с поверхностным стоком. В связи с этим, солифлюкционный склон подразделяется на три зоны: 1) зона выноса или денудации (верхняя часть склона); 2) зона транзита, где происходит частичная аккумуляция биогенных элементов (средняя часть); и (3) зона накопления или аккумуляции (нижняя часть), где снесенная почва и растительность образуют отложения на надпойменной террасе [2]. Флористическое разнообразие и состав, структура растительности, сукцессионные тренды [3,4] и процессы цикла углерода (C), включая почвенное дыхание (SR), активность и состав микробоценоза почвы могут протекать по-разному в различных зонах солифлюкции [5]. Солифлюкции также, как и лесные пожары, влияют на стабилизацию C в экосистеме. В отличие от лесных пожаров, в результате которых C выбрасывается непосредственно в атмосферу, солифлюкции могут приводить как к выносу C из экосистемы через гидросистему, так и к перераспределению его в пределах экосистемы, например аккумуляции ниже по склону. Некоторые экосистемы с анаэробными условиями могут стабилизировать C в течение длительного времени, например прибрежные речные отложения, но в то же время эти экосистемы могут быть серьезным источником метана [5]. Мы предполагаем, что сукцессионные процессы различаются в зонах транзита (средняя часть склона) и аккумуляции (нижняя часть склона), а изменяющиеся в результате восстановительной сукцессии условия могут повлиять на направленность потоков C. Так, термокарстовые процессы приводят к увеличению температуры, влажности почвы, и освещенности, то есть улучшают условия среды, и, следовательно, могут стимулировать как фотосинтез, так и почвенное дыхание [6]. С другой стороны, солифлюкции и деградация вечной мерзлоты могут приводить к перемещению органического слоя и вымыванию питательных веществ из почвы, ингибируя таким образом активность почвенной микробиоты [7]. Поэтому целью исследования было выяснение различий между почвенными процессами в зонах транзита и аккумуляции солифлюкций разного возраста. Для этого, были изучены SR, температура (T5, °C), влажность (SWC, %) почвы на глубине 5 см и структура микробных сообществ почвы в средней и нижней частях склона.

Материалы и методы. Район исследований расположен в северной части Средней Сибири (г. Тура, Красноярский край) в зоне сплошного распространения вечной мерзлоты (рис. 1). Климат холодный континентальный и среднегодовая температура достигает -9.5°C при среднемесячной температуре в январе -36°C и 16°C в июле [3]. Преобладают лиственничные экосистемы, типичные для северной тайги. Для изучения свойств почв и процессов в зонах транзита (средняя часть склона) и аккумуляции (нижняя часть склона) разновозрастных солифлюкций были выделены две солифлюкции 1972 г. (L1972 - 35-летняя; 64.183°N, 100.675°E) и 2001 г. (L2001 - 6-летняя; 64.182°N, 100.525°E), расположенные на склонах юго-восточной и юго-западной экспозиций в долине р. Нижняя Тунгуска (рис. 1). Контрольные

участки представляли собой ненарушенные лиственничники (*Larix gmelinii* Rupr. Rupr.) недалеко от соответствующих опытных вариантов (рис. 1). Общая нарушенная площадь составила около 11200 м² для L2001 и 5700 м² для L1972.

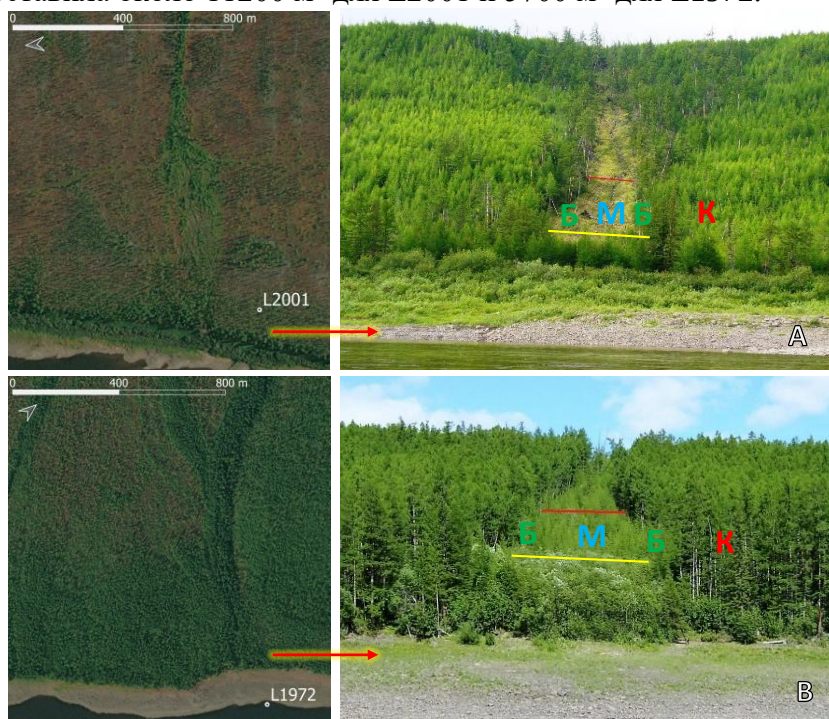


Рис. 1. Схема пробных площадей: 6-летняя солифлюкция (L2001; А) и 35-летняя солифлюкция (L1972; В). Красная линия указывает на расположение средней части склона, желтая указывает на расположение нижней части склона (фото сделаны в 2007 г. Масыгиной О.В.). К – контроль (ненарушенный солифлюкцией участок), Б – бровка солифлюкции, М – мелкозем солифлюкции. Спутниковые снимки - ESRI Satellite, дата обращения 29.08.2022.

Исследования проводили в августе с 2008 по 2010 гг. на площадках (К – контроль, Б – бровки солифлюкции, М – мелкозем; всего 36 площадок) размером 3х3 м вдоль 20-метровых трансект на каждом уровне склона (средний и нижний) обеих солифлюкций (рис. 1). Бровки представляли собой неравномерный пограничный слой между неповрежденным древостоем и древостоем, нарушенным солифлюкцией. На участках бровок была смесь почвы и древесных остатков, что позволило выжить некоторым растительным видам. Между бровками выделяли участки мелкозема, представляющие собой мелкозернистый слой (почва, мелкозем) без растений. Из-за оползневых явлений содержание питательных веществ и экологические условия резко изменились на участках Б и М [2]. На площадках измеряли SR (μмоль CO₂ м⁻² с⁻¹) и T5 (°C), а также проводили отбор проб для определения SWC (%) и соотношения функциональных экологических групп (ФЭГ) микроорганизмов. Скорость SR оценивали на основе измерений с 3–5 почвенных ПВХ колец при помощи Li-Cor 6200 (LI-COR, США) (рис. 2). T5 измеряли на глубине 5 см с помощью электронного термометра Checktemp 1 (США) одновременно с измерением SR (рис. 2). Влияние солифлюкции (Б и М площадки) на переменные SR, T5 и SWC анализировали при помощи величины эффекта для каждого наблюдения по формуле (1) [8]:

$$RR = \ln\left(\frac{\overline{X}_f}{\overline{X}_c}\right) \quad (1)$$

где $\overline{X}_c$ - средняя величина переменной в контроле, а $\overline{X}_f$ - средняя величина переменной на Б и М площадках, т.е. влияние солифлюкции.

Для оценки структуры почвенного микробного сообщества изучали соотношения ФЭГ (%): гидролитическая микрофлора (HL), микроскопические грибы (mF), копиотрофы (CO), олиготрофы (OL), актиномицеты (АКТ), а также общую численность микроорганизмов (млн. КОЕ на 1 г сухой почвы) [3,4]. Распределение исследуемых параметров (T5, SWC, SR, и соотношения ФЭГ) проверяли на нормальность для стабилизации дисперсии; переменные с распределением, отличающимся от нормального, подвергали log-трансформации. Трехфакторный дисперсионный анализ (ANOVA) использовали для оценки влияния возраста солифлюкции, расположения на склоне (зона транзита или аккумуляции) и типа площадки (Б и М) на T5, SWC, SR и соотношения ФЭГ. Анализ данных и визуализации выполнены с

использованием R версии 4.1.3 (2022-03-10) "One Push-Up") в RStudio (версия + 492 "Prairie Trillium" Release 2022.02.3).

Результаты и обсуждение. В целом, T5, нормированная по контролю, в обеих зонах у обеих солифлюкций была выше контрольных значений с максимальными значениями в зоне транзита L2001 (рис. 2). Значения SWC были ниже контрольных и в нижней и средней части склона (за исключением средней части склона 6-летней солифлюкции, где значения SWC колебались в пределах значений контрольных участков).

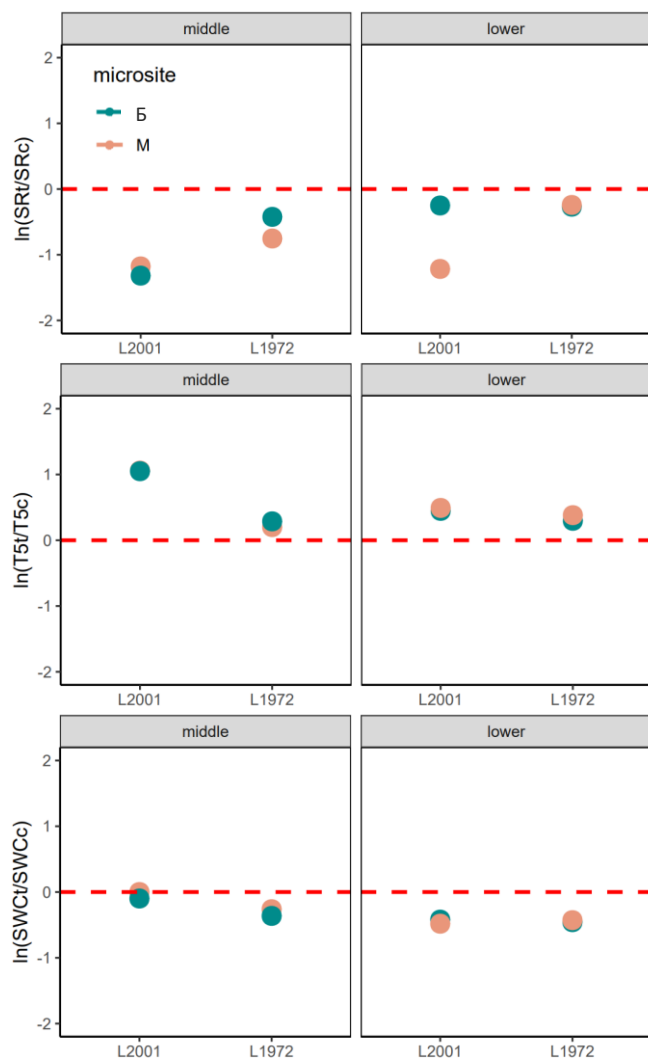


Рис. 2. Соотношения отклика SR, T5 и SWC на Б и М площадках в средней (middle) и нижней (lower) части склона 6-летней (L2001) и 32-летней (L1972) солифлюкции. Отклонение от красной пунктирной линии (контроль) соответствует максимальному эффекту. Б – бровки, М – мелкозем.

Существенное негативное влияние солифлюкции на SR выявлено на 6-летней солифлюкции (L2001), где отклонение от нулевой линии (т.е. контроля, рис. 2) было самым значительным, в особенности на М площадках, как наиболее поврежденных оползневыми процессами. Несмотря на то, что в нижней части склона L2001 различий в гидротермических параметрах между М и Б площадками выявлено не было, интенсивность SR на Б площадках была выше, по сравнению с М площадками и ненамного отличалась от контроля. В целом, зона аккумуляции, характеризовалась более высокими значениями SR, особенно на Б площадках, по сравнению с зоной транзита. После 35 лет восстановительной сукцессии, скорость SR на оползневых участках все еще была ниже чем в контроле, хотя в зоне аккумуляции уровень SR приблизился к контрольным значениям. Восстановление уровня SR на мелкозем (М площадки) происходило более медленными темпами по сравнению с бровками (Б площадки). Трёхфакторный ANOVA показал, что интенсивность SR зависела от возраста солифлюкции, T5 – от степени повреждения в результате оползневых процессов (Б или М), а SWC – от положения на склоне и возраста солифлюкции.

Стоит отметить, что численность микроорганизмов в зоне транзита обеих солифлюкций была выше по сравнению с зоной аккумуляции, особенно на участках мелкозема (рис. 3), что возможно связано с более активной регенерацией листовницы и более узким C/N в зоне транзита [2].

Микробные сообщества в зоне транзита и аккумуляции представляли собой олиготрофно-копиотрофные комплексы. В целом, в зоне аккумуляции преобладали HL и АСТ. СО преобладали в зоне аккумуляции, но только на Б площадках, на М площадках процентное содержание СО было одинаковым в зонах транзита и аккумуляции. OL устойчиво преобладали в зоне транзита независимо от возраста солифлюкции. Соотношение mF варьировало в зависимости от положения на склоне и возраста солифлюкции. Вышеперечисленные различия в преобладании тех или иных представителей ФЭГ, вероятно были обусловлены перераспределением биогенов за счет их миграции со стоком из зоны транзита в зону

аккумуляции, особенно это проявляется на Б площадках зоны аккумуляции, где копиотрофы преобладали над олиготрофами.

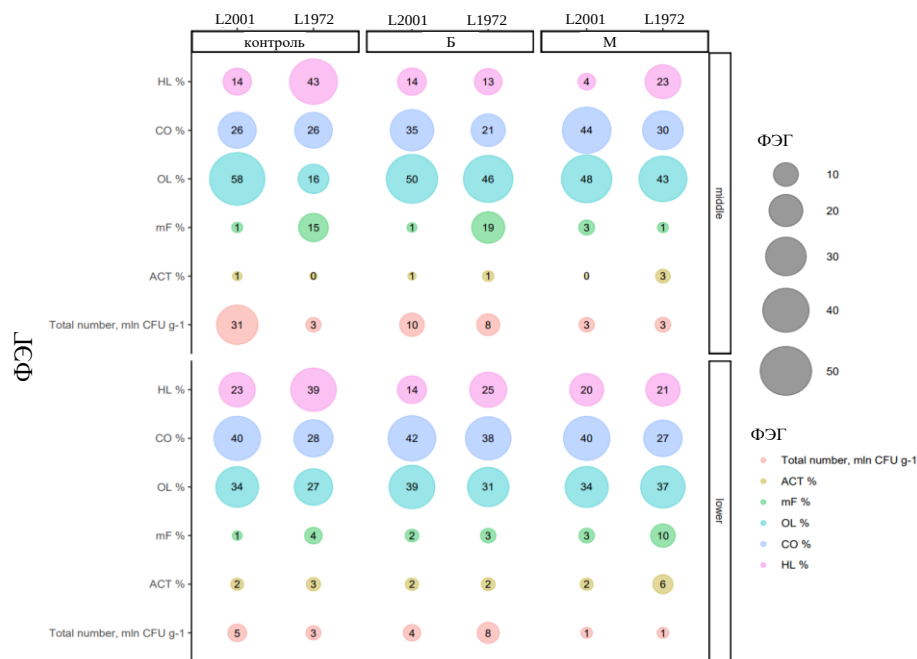


Рис. 3. Структура микробного сообщества (соотношения ФЭГ и численность микроорганизмов) на разных площадках в зонах транзита (middle) и аккумуляции (lower) 6- (L2001) и 35-летней (L1972) солифлюкции.

Выводы. Таким образом, было показано, что на постсолифлюкционных участках лиственничников Эвенкии, гидротермические параметры почвы не вернулись к уровню контрольных значений даже через 35-летний период после схода оползня: температура почвы на глубине 5 см регистрировалась выше, а влажность почвы ниже по сравнению со значениями контрольных участков. Постсолифлюкционная сукцессия в течение 35 лет не привела к восстановлению почвенного дыхания на уровне исходных (контрольных) древостоев ни в зоне транзита, ни в зоне аккумуляции. Зоны транзита и аккумуляции характеризовались доминированием различных ФЭГ: в зоне транзита преобладали олиготрофы, а в зоне аккумуляции – копиотрофы. К 35 годам в зоне транзита на участках мелкозема происходит формирование почвенного горизонта, в котором формируются почвенно-растительные условия способствующие накоплению С в почве. Работа выполнена при поддержке РФФИ (16-04-01677, 18-41-242003, 18-54-52005).

Литература

1. Geertsema M., Pojar J.J. Influence of landslides on biophysical diversity - A perspective from British Columbia. *Geomorphology*. 2007. № 89. P. 55-69.
2. Prokushkin S.G., Bugaenko T.N. et al. Succession-driven transformation of plant and soil cover on solifluction sites in the permafrost zone of Central Evenkia. *Biological Bulletin*. 2010a. № 1. P. 80-88.
3. Masyagina O.V., Evgrafova S.Yu. et al. Permafrost landslides promote soil CO₂ emission and hinder C accumulation. *Science of the Total Environment*. 2019. № 657. P. 351-364.
4. Masyagina O.V., Evgrafova S.Y. et al. A comparative study of soil processes in depletion and accumulation zones of permafrost landslides in Siberia. *Landslides*. 2020. № 17. P. 2577-2587.
5. Abbott B.W., Jones J.B. Permafrost collapse alters soil carbon stocks, respiration, CH₄, and N₂O in upland tundra. *Global Change Biology*. 2015. № 21. P. 4570-4587.
6. Schuur E.A.G., Vogel J.G. et al. The effect of permafrost thaw on old carbon release and net carbon exchange from tundra. *Nature*. 2009. № 459. P. 556-559.
7. Jensen A.E., Lohse K.A. et al. Variations in soil carbon dioxide efflux across a thaw slump chronosequence in northwestern Alaska. *Environmental Research Letters*. 2014. № 9. P. 025001.
8. Xu S., Eisenhauer N. et al. Fire frequency and type regulate the response of soil carbon cycling and storage to fire across soil depths and ecosystems: A meta-analysis. *Science of The Total Environment*. 2022. № 825. P. 153921.

ФЕРМЕНТАТИВНАЯ АКТИВНОСТЬ ЧЕРНОЗЁМОВИДНОЙ ПОЧВЫ ПРИ ЗАГРЯЗНЕНИИ НЕФТЬЮ И НЕФТЕПРОДУКТАМИ

О.А. Пилецкая, *olgapiletskaya1988@gmail.com*, Е.Е. Новикова, *alena-novikova-13@mail.ru*

ФГБОУ ВО Дальневосточный ГАУ, г. Благовещенск

На сегодняшний день большое внимание уделяется изучению влияния углеводородов нефти и нефтепродуктов на почвы. Это связано с тем, что нефтяные углеводороды при попадании в почву вызывают глубокое необратимое изменение физических, физико-химических и микробиологических свойств, что приводит к потере загрязненными почвами плодородия, к их засолению и отторжению площадей из сельскохозяйственного использования. Несмотря на значительные изменения нефти и нефтепродуктов в результате физико-химических процессов, ведущее место принадлежит разложению под действием микроорганизмов и ферментов. Почвенные ферменты активно участвуют в процессах трансформации органических остатков, как в течение жизни, так и после отмирания микроорганизмов [1].

Цель исследования – изучить влияние загрязнения нефтью и нефтепродуктами на биологическую активность чернозёмовидной почвы под посевами пшеницы и многолетних трав.

Материал и методы исследований

Объект исследований – чернозёмовидная почва. Отбор почвенных образцов проводили 14.09.2021 г. на 2-х полях ФГБОУ ВО Дальневосточный ГАУ, в с. Грибское. Культура севооборота: 1) пашня (зерновые); 2) сенокос (многолетние травы). Образцы были отобраны площадным методом, глубина отбора почвенных образцов 0-20 см. Почвенные образцы перед закладкой лабораторного опыта, высушены до воздушно-сухого состояния и просеяны через сито с диаметром отверстий 2 мм.

Для изучения ферментативной активности нефтезагрязненной почвы был заложен лабораторный опыт в трех повторностях по следующим вариантам: 1. Контроль; 2. Допустимый уровень содержания нефти и нефтепродуктов; 3. Средний уровень содержания нефти и нефтепродуктов; 4. Очень высокий уровень содержания нефти и нефтепродуктов.

Закладка опыта разделена на три срока компостирования: 10, 20 и 30 дней, отдельно для культур севооборота пашни и сенокоса. Почва в пакетах насыщена до оптимальной влагоёмкости 60%. При подготовки лабораторного опыта определена гигроскопическая влажность почвы по методу определения гигроскопической влажности [2].

Энзиматическая активность почвы определена по активности ферментов класса оксидоредуктаз и гидролаз: каталаза – перманганатометрическим методом по Джонсону Темпле [3], пероксидаза – по методу А. Ш. Галстяна [4], фосфатаза – по методу С.Г. Малахова (гидролиз фенолфталеин фосфата натрия) [5], уреазы – по методу А.Ш. Галстяна [3]. Статистическая обработка полученных данных, в лабораторных исследованиях, была выполнена в программе Statistica, методом оценки различных вариантов по средним показателям.

Обсуждение результатов

Уреазная активность – один из важнейших показателей биологической активности почв и индикатор ее самоочищающей способности. Отклонения от контроля в активности уреазы в зависимости от уровня загрязнения представлены на рисунке 1.

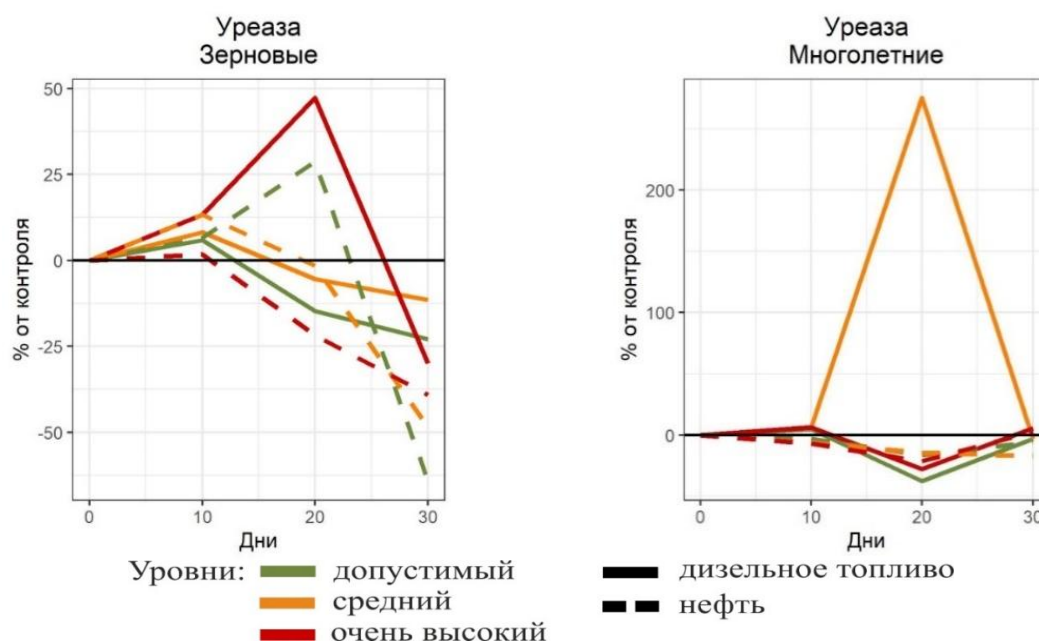


Рисунок 1 – Активность уреазы чернозёмовидной почвы под зерновыми культурами и многолетними травами при загрязнении нефтью и нефтепродуктами

Так как уреаза катализирует гидролиз мочевины, то более интенсивно протекающие процессы разложения мочевины при загрязнении почвы нефтью и нефтепродуктами характеризуют ее потенциальную самоочищающую способность как высокую. Стимулировать уреазную активность может и увеличение содержания органического углерода, активизирующего азотный обмен в почве, за счет поступления нефти. В наших исследованиях высокая стабильная активность почвенной уреазы в первый срок компостирования наблюдалась после внесения нефтепродуктов, что связано с появлением питательного для микрофлоры субстрата – нефти и дизельного топлива. Уреазная активность как в контроле, так и при загрязнении нефтью и дизельным топливом снижается на 20 и 30 дни компостирования, что может быть связано с уменьшением уровня аэрации. Также на 30 день компостирования активность уреазы при загрязнении нефтью и дизельным топливом снижается по всем вариантам опыта, что может быть связано и со снижением уровня аэрации и с тем, что со временем стимулирующее действие нефти и нефтепродуктов сменяется на ингибирующее. Таким образом, именно микробиологические, энзиматические свойства почвы и инкубационный срок обуславливают содержание нефтепродуктов в почве при ее загрязнении.

Отклонения от контроля в активности фосфатазы в зависимости от уровня загрязнения представлены на рисунке 2. Согласно исследованиям ученых, внесение нефти и нефтепродуктов может ингибировать активность ферментов, таких как фосфатазы и фитазы, которые участвуют в распаде фосфорсодержащих органических соединений. Кроме того, с уменьшением активности ферментов данной группы снижается содержание подвижных фосфатов. В наших исследованиях ингибирующее действие нефти и нефтепродуктов проявляется в третий срок компостирования почвы под зерновыми культурами. Причиной такого снижения активности фермента может быть как обволакивание почвенных частиц нефтью, препятствующее поступлению субстрата, так и ингибирующее действие тяжелых металлов, концентрация которых в нефтезагрязненных почвах увеличивается. Причиной повышения активности фермента во все сроки компостирования почвы под многолетними травами может быть обусловлена особенностью чернозёмовидных почв. Региональной спецификой является среднее содержание подвижного фосфора и очень высокая активность фосфатазы, что приводит к усиленной трансформации фосфатного режима.

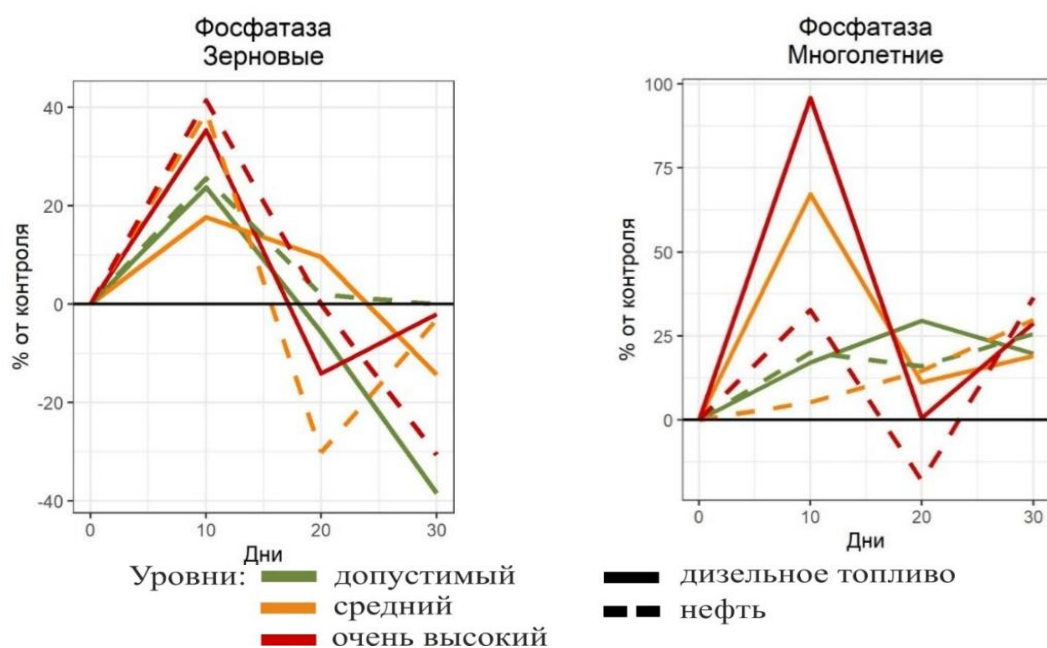


Рисунок 2 – Активность фосфатазы чернозёмовидной почвы под зерновыми культурами и многолетними травами при загрязнении нефтью и нефтепродуктами

Активность каталазы чернозёмовидной почвы при загрязнении нефтью и дизельным топливом была стабильна по всем вариантам опыта (рис. 3).

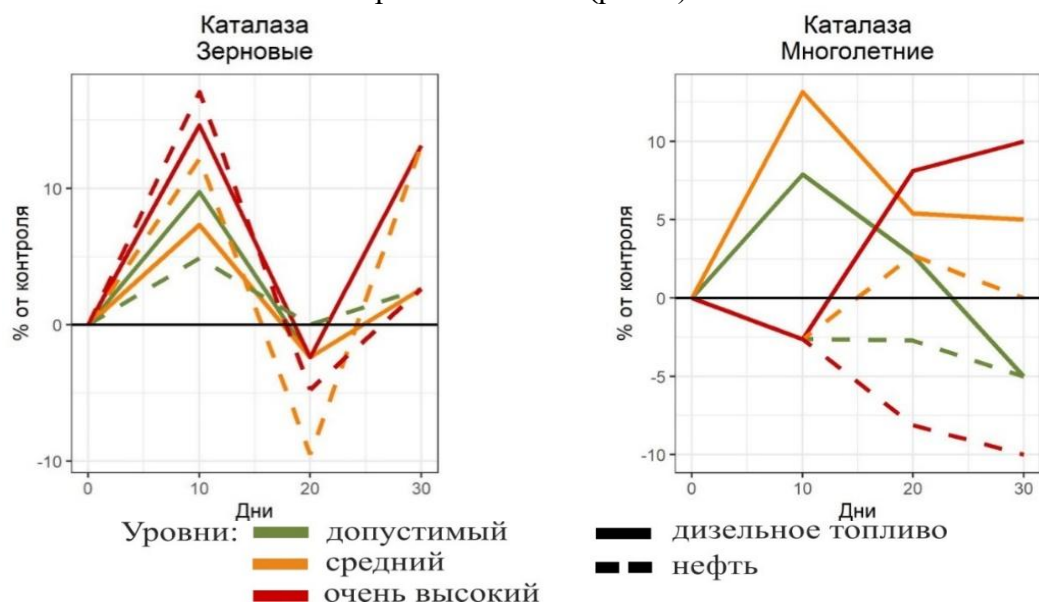


Рисунок 3 – Активность каталазы чернозёмовидной почвы под зерновыми культурами и многолетними травами при загрязнении нефтью и нефтепродуктами

Каталаза является внутриклеточным ферментом, активно выделяется микроорганизмами, может накапливаться и длительное время сохраняться в почве, поэтому её активность можно рассматривать как показатель функционального состояния микробоценоза в различных экологических условиях. Также активность каталазы характеризует стабилизацию почвенных условий и играет роль биохимического «буфера», блокирующего накопление вредной для клеток перекиси водорода и таким образом участвующего в процессе самоочищения почвы. По данным Е.И. Новосёловой (2009), результаты многочисленных исследований показывают, что при загрязнении почвы нефтью активность каталазы меняется, отмечается как повышение, так

снижение её активности, что связано с дозой загрязнения, типом загрязняющей нефти, буферной ёмкостью почв.

Отклонения от контроля в активности пероксидазы в зависимости от уровня загрязнения представлены на рисунке 4.

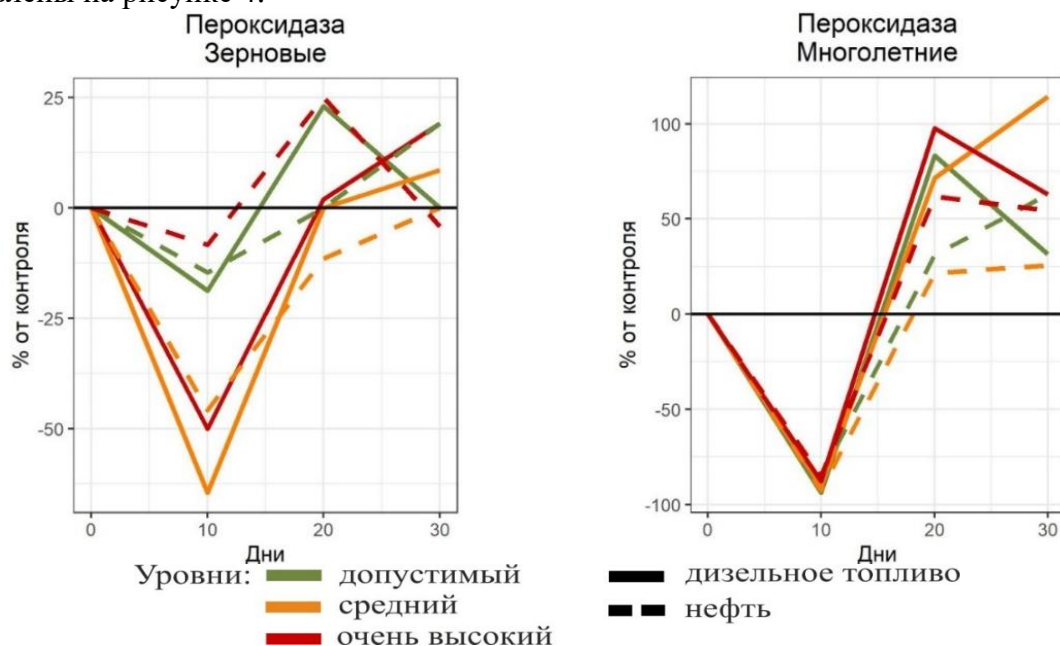


Рисунок 4 – Активность пероксидазы чернозёмовидной почвы под зерновыми культурами и многолетними травами при загрязнении нефтью и нефтепродуктами

Активность пероксидазы при загрязнении нефтью и дизельным топливом повышается на 20 и 30 дни компостирования, это может быть связано с тем, что за указанный период произошла частичная трансформация нефти, нефтепродуктов и почвенного субстрата в процессе окисления. Также это может быть связано с включением этого фермента в процессы детоксикации загрязняющих веществ. Таким образом со временем ингибирующее действие нефти и нефтепродуктов сменяется на стимулирующее.

Заключение

В результате исследований чернозёмовидной почвы при загрязнении нефтью и нефтепродуктами установлено, что активность уреазы варьирует от очень слабой до слабой, каталазы – очень слабая, фосфатазы – очень высокая. Активность уреазы, пероксидазы выше в чернозёмовидной почве под многолетними травами, активность фосфатазы и каталазы – под зерновыми культурами. По всем вариантам исследований, активность уреазы выше в первый срок, фосфатазы и пероксидазы – во второй срок компостирования. На активность каталазы срок компостирования не оказал значительного влияния. Наиболее чувствительным показателем по отношению к нефтяному загрязнению оказалась активность пероксидазы.

Литература

1. Корягин Ю.В., Корягина А.Н., Арефьев, Е.Г. Биология почв: учебное пособие для вузов. – М.: Издательство Юрайт, 2022. – 415 с.
2. Ганжара Н.Ф. Почвоведение. – М.: Агроконсалт, 2001. – 392 с.
3. Муртазина С.Г., Гайсин И.А., Муртазин М.Г. Практикум по почвоведению. – Казань: Казанская государственная сельскохозяйственная академия, 2006. – 225 с.
4. Хазиев Ф. Х. Методы почвенной энзимологии. – М.: Ин-т биологии Уфим. НЦ. Наука, 2005. – 252 с.
5. Временные методические рекомендации по контролю загрязнения почв / С. Г. Малахов. – Москва: Московское отделение гидрометеоздата, 1984.
6. Новосёлова Е.И., Киреева Н.А. Ферментативная активность почв в условиях нефтяного загрязнения и её биодиагностическое значение // Теоретические проблемы экологии. 2009. №2. С. 4-12.

ХАРАКТЕРИСТИКА ЕСТЕСТВЕННОГО ВОЗОБНОВЛЕНИЯ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ В ИСКУССТВЕННЫХ НАСАЖДЕНИЯХ СУХОЙ СТЕПИ

Савин М.А., *mihասavin@mail.ru*

Алтайский государственный аграрный университет, г. Барнаул

Ленточные боры Алтайского края являются не только источником сырьевых ресурсов, но и выполняют важнейшие экологические функции: почвозащитные, водорегулирующие, климаторегулирующие и др. В связи с тем, что ленточные боры произрастают в экстремальных по засушливости условиях, естественное возобновление может затягиваться на десятилетия, последнее особенно характерно для юго-западной части Алтайского края. Как следствие, в ленточных борах существует необходимость в искусственном лесовосстановлении и мерах содействия естественному возобновлению [1].

Для обеспечения своевременной смены поколений необходимо создавать условия для появления подроста главных пород, поэтому способы и качество проведения мероприятий по содействию естественному возобновлению леса имеют важное значение. Чтобы оценить эффективность этих мероприятий необходимо знать количество, качество, породный состав, распределение по участку самосева и подроста главной. Условия для естественного возобновления в лесах определяются особенностями лесной среды, в образовании которой решающее влияние принадлежит лесному пологу. Однако следует учитывать неоднородность лесотипологических и лесорастительных условий, обусловленных особенностями мезорельефа [2].

Цель исследования – выявление особенностей естественного возобновления сосны обыкновенной в искусственных насаждениях сухой степи.

Задачи исследования:

1. Определить количество и состояние подроста в искусственных насаждениях;
2. Изучить влияние различных типов леса на количество и качество возобновления;
3. Выявить закономерности в распределении подроста по площади.

Материалы и методы исследования. Исследования проводились на территории Озерно-Кузнецовского лесничества Кузнецовского производственного участка. Для закладки учетных площадок и оценки возобновления были подобраны пробные площади (ПП) с насаждениями сосны в пределах одного класса возраста в двух типах леса:

Травяной бор (ТРБ) – ПП№1, ПП№6, контрольная проба ПП№9;

Сухой бор пологих всхолмлений (СБП) – ПП №2, ПП№3, ПП№4, ПП№5, ПП№7, ПП№8, контрольная проба ПП№10.

Исследования проводились общепринятыми в лесном хозяйстве методами: метод пробных площадей, учетных площадок [3,4].

Результаты исследований. В результате исследований были установлены общие закономерности продуктивности искусственных насаждений сосны обыкновенной для каждого типа леса [5].

На данных участках произрастают чистые сосновые древостои искусственного происхождения со следующими таксационными показателями: возраст 50-60 лет, полнота – 0,7-0,8, IV-V класса бонитета. Однако, по средней высоте, среднему диаметру и запасу показатели варьируют в широких пределах. Искусственные древостои в данных типах леса относятся к среднеполнотным, за исключением ПП №5, которая является низкополнотной [5]. Следует отметить, что на всех ПП полнота и сомкнутость полога не препятствуют появлению подроста.

Производительность естественных древостоев, выраженная через класс бонитета, выше, чем искусственных вне зависимости от типа условий местопроизрастания. В травяном бору искусственные древостои уступают естественным того же возраста по среднему диаметру, но за

счет высокой густоты сформировали запас сырораствующей древесины в 2,5 раза, превышающий этот показатель в естественных древостоях. В более сложных лесорастительных условиях сухого бора лесные культуры так же оказались более продуктивными в сравнении с естественным древостоем. Однако запас в искусственных сосняках представлен более тонкомерной древесиной. Анализ возрастной структуры молодого поколения леса (рис. 1) отражает одновременно интенсивность и успешность лесовозобновительного процесса.

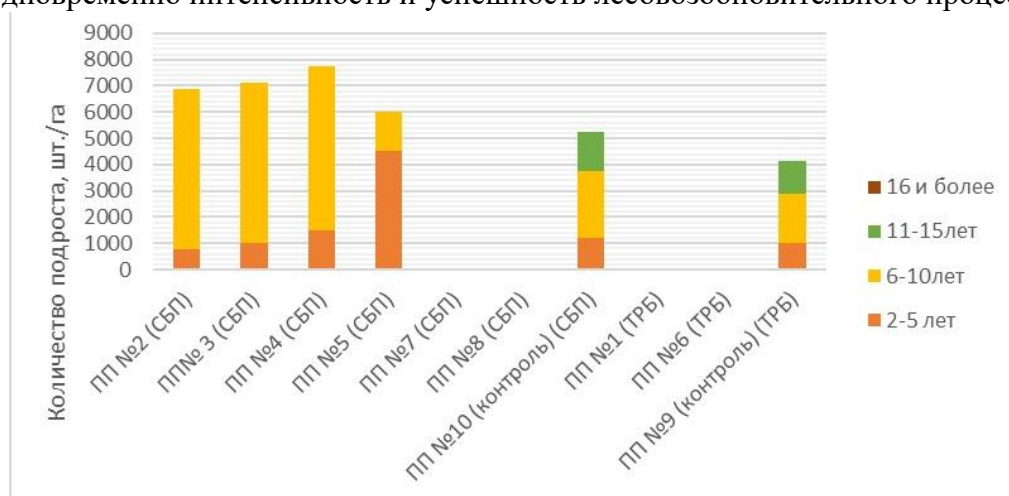


Рисунок 1 – Распределение подроста сосны обыкновенной по группам возраста, шт./га

Количество подроста сосны обыкновенной в искусственных насаждениях зависит от условий местопроизрастания. В травяном бору искусственного происхождения лесовозобновление полностью отсутствует. Тогда как в естественном насаждении присутствует подрост в количестве 4125 шт./га., а также всходы в количестве 1200 шт./га. Такую разницу можно объяснить разной полнотой древостоя и развитием живого напочвенного покрова.

В сухом бору преобладает подрост возрастом 6-10 лет. Густота подроста составляет от 6000-7000 шт./га., всходы от 1000-5000 шт./га. На ПП №7 и ПП №8 подрост отсутствует. Эти 2 участка отличаются высокой производительностью и, как следствие, мощной подстилкой, препятствующей появлению возобновления.

Распределение подроста сосны обыкновенной по группам качества (рис. 2) влияет на дальнейшее формирование древесного полога будущего древостоя.

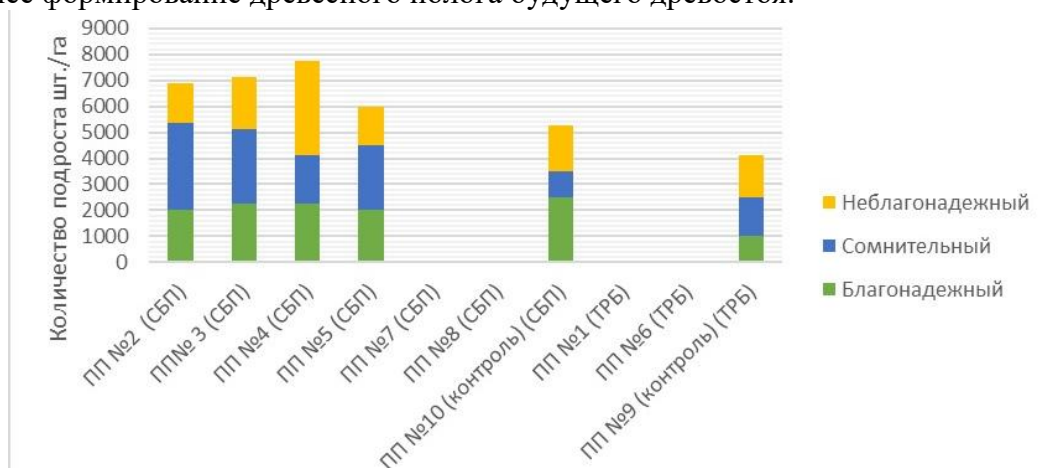


Рисунок 2– Распределение подроста сосны обыкновенной по группам качества, шт./га

В сухом бору искусственного происхождения доминирует сомнительный подрост, за исключением ПП №4, где преобладает неблагонадежный подрост. На ПП №2 преобладающей группой по качеству является сомнительный подрост, тогда как, в естественном древостое преобладает благонадежный подрост, составляющий 48%.

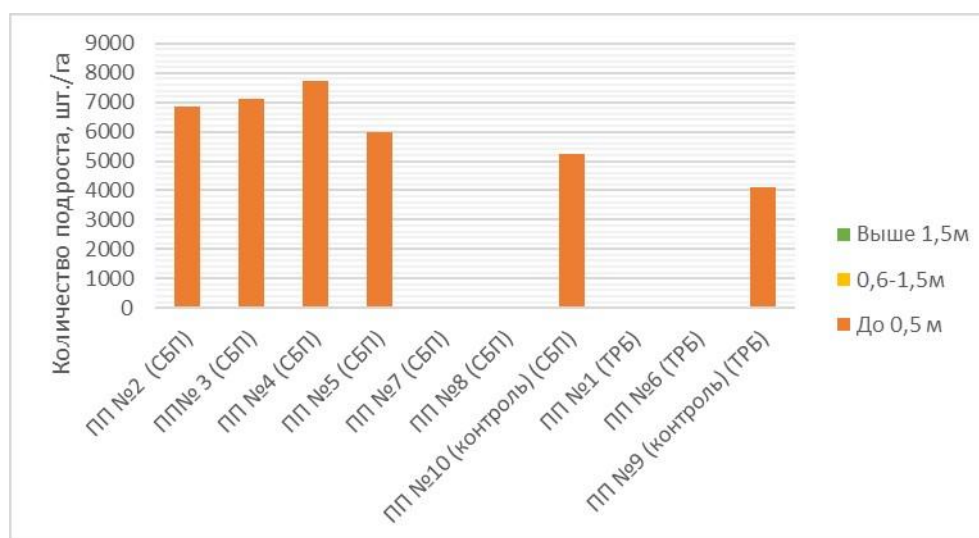


Рисунок 3 – Распределение подроста сосны обыкновенной по группам высот, шт./га

На всех участках подрост не превышает 50 см по высоте.

Оценка успешности лесовозобновления (таблица 1) может проводиться по разным методикам, для производства основным критерием являются действующие правила лесовосстановления.

Таблица 1 – Оценка успешности естественного возобновления леса

№ ПП	Густота подроста, шт./га	Встречаемость, %	Оценка по шкале Крылова	Оценка по шкале Нестерова	Оценка по Правилам (2021)
Сухой бор пологих всхолмлений (СБП)					
ПП №2	6875	75	хорошее	удовлетв.	Естественное лесовосстановление путем мероприятий по сохранению подроста, ухода за подростом
ПП №3	7125	80	хорошее.	удовлетв.	
ПП №4	7750	85	хорошее	хорошее	
ПП №5	6000	65	хорошее	удовлетв.	
ПП №7	-	-	-	-	Искусственное лесовосстановление
ПП №8	-	-	-	-	
ПП №10 (контроль)	5250	80	хорошее	хорошее	Естественное лесовосстановление путем мероприятий по сохранению подроста, ухода за подростом
Травяной бор (ТРБ)					
ПП №1	-	-	-	-	Искусственное лесовосстановление
ПП №6	-	-	-	-	
ПП №9 (контроль)	4125	65	хорошее	хорошее	Естественное лесовосстановление путем мероприятий по сохранению подроста, ухода за подростом

*Правила лесовосстановления (утв. приказом МПР России от 04.12.2020 № 1014).

Наличие подроста указывает на возобновительную способность данного насаждения [6]. В искусственных насаждениях подрост присутствует только в сухом бору. На исследуемых участках возобновление средней густоты с равномерным распределением по площади, встречаемость 65-85%.

Таким образом, количество благонадежного подроста в искусственных сосняках с учетом высокой сомкнутости полога можно считать достаточным для естественного самовозобновления.

Общие выводы:

1. Количество и состояние подроста в искусственных насаждениях зависит от типа леса, почвенного покрова, а также от непосредственного распределения по площади деревьев верхнего яруса.

2. В искусственных сосняках подрост имеется только в сухом бору, но преобладает сомнительный и неблагонадежный.

3. Распределение подроста сосны обыкновенной по площади можно считать равномерным, но так как полнота древостоев в искусственных насаждениях неравномерная, то подрост сосредоточен на открытых участках и между рядами.

Литература

1. Бугаев В.А., Косарев В.Г. Лесное хозяйство ленточных боров Алтайского края. Барнаул: Алт. кн. из-во, 1988. – 312 с.
2. Малиновских А.А. Процесс естественного возобновления сосны обыкновенной после выборочных рубок в спелых и перестойных насаждениях в ленточных борах Алтайского края / А.А. Малиновских, А.А. Маленко // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2018. – № 1(159). – С. 67–72.
3. Методы изучения лесных сообществ. - СПб.: НИИХимии СПбГУ, 2002. - 240 с.
4. Побединский А.В. Методика изучения лесовосстановительных процессов. – М.: Наука, 1966. – 64 с.
5. Гусакова, И. В. Продуктивность и санитарное состояние искусственных сосняков в сухой степи / И. В. Гусакова, М. А. Савин // Вестник молодежной науки Алтайского государственного аграрного университета. – 2021. – № 1. – С. 29-33.
6. Савин, М. А. Рост естественного возобновления сосны обыкновенной на гарях в ленточных борах Алтайского края / М. А. Савин // Аграрная наука - сельскому хозяйству: Сборник материалов XIV Международной научно-практической конференции. В 2-х книгах, Барнаул, 07–08 февраля 2019 года. – Барнаул: Алтайский государственный аграрный университет, 2019. – С. 242-244.

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДРЕВЕСИНЫ ТОПОЛЯ БАЛЬЗАМИЧЕСКОГО ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ТОПЛИВНЫХ БРИКЕТОВ В НОВИЧИХИНСКОМ ЛЕСНИЧЕСТВЕ АЛТАЙСКОГО КРАЯ

Савина П.А., Савин М.А., *savinapolina2001@mail.ru*

Алтайский государственный аграрный университет, г. Барнаул

В наши дни становится очевидной ограниченность традиционных источников энергии, базирующихся на нефти, природном газе и угле. Поиск новых источников энергии – актуальная проблема. Существенную и все возрастающую роль в мировой энергетике начинают играть альтернативные источники энергии, основанные на использовании биоэнергии сырья различной природы, в том числе это древесина различных пород и получаемое из неё биотопливо – топливные брикеты [1].

Цель: Оценить перспективы использования древесины тополя бальзамического для производства топливных брикетов.

Задачи исследования:

- Оценить запасы сырья для производства топливных брикетов из тополя;
- Изучить свойства древесины тополя, и брикетов из нее;
- Дать экономическое обоснование применения древесины тополя для производства топливных брикетов.

Материалы и методы исследования.

В Новичихинском лесничестве Алтайского края на территории Токаревского производственного участка были заложены 5 пробных площадей (ПП), различающихся по типу условий местопроизрастания и орографии. Произведена лесоводственно-таксационная оценка древостоев тополя, отобраны образцы древесины для проведения лабораторного анализа [2].

Исследования проводились общепринятым в лесном хозяйстве методом: метод пробных площадей [3]. Технические характеристики древесных брикетов определялись в соответствии с действующими ГОСТами (по ГОСТ Р 54261-2010. РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ. ОБРАЩЕНИЕ С ОТХОДАМИ И ПРОИЗВОДСТВО ЭНЕРГИИ. Стандартный метод определения высшей теплотворной способности и зольности отходов материалов ГОСТ Р 56881-2016 Биомасса. Определение зольности стандартным методом; ГОСТ Р 54186-2010 Биотопливо твердое ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ВЛАГИ ВЫСУШИВАНИЕМ. Часть 1. Общая влага. Стандартный метод).

Результаты исследований.

Исследуемые насаждения являются высокополнотными. Класс бонитета – IV-V. Наибольший запас древесины имеет древостой на 3 ПП, а наименьший на 1 ПП. Однако на 2 ПП больше деревьев более высокой товарной ценности. Средний класс роста по Крафту на всех участках близок к III. Средний класс роста по Нестерову – II б. На всех пробках имеются сухостойные деревья. Процесс отмирания носит естественный характер. Сухостой преимущественно представлен мелкотоварными деревьями. Запас древесины варьирует в широких пределах от 174,6 до 694,6 м³/га [4,5].

Древесина тополя имеет низкую теплотворную способность. Для оценки перспектив производства топливных брикетов из тополя следует оценить технические показатели брикетов тополя и сосны. При производстве брикетов из тополя использовалась щепа, а при производстве брикетов из сосны – опилки, т.е. у тополя используется более крупная, что влияет на плотность брикета. Для производства опытной партии брикетов из тополя были отобраны модельные (средние) деревья, которые были спилены и измельчены в щепу. При производстве брикетов из сосны использовались опилки, поступающие из цеха. Внешний вид топливных брикетов представлен на рисунке 1.



Рисунок 1. Топливные брикеты из тополя (слева) и сосны (справа)

Полученные опытные образцы были подвергнуты анализу в Испытательной лаборатории топлива АлтГТУ. Результаты анализа представлены в таблице 1.

Таблица 1. Сравнение результатов анализа брикетов из тополя и сосны

Параметр	Брикет из сосны	Брикет из тополя
Размер, см	15,4x9,8x6,4	15,3x8,9x6,3
Масса, кг	0,809	0,703
Объем, см ³	965,8	857,9
Плотность, кг/м ³	837	820
Влажность, %	4,20	4,00
Зольность сухой массы, %	0,30	8,00
Зольность рабочей массы, %	0,30	8,00
Содержание горючих веществ, %	99,70	92,00
Выход летучих веществ из сухой беззольной массы, %	85,70	81,00
Высшая теплота сгорания сухой беззольной массы, ккал/кг	4970	4741
Низшая теплота сгорания рабочего топлива, ккал/кг	4642	4048

Теплотворная способность напрямую зависит от плотности, несмотря на то что плотность тополя ниже плотности сосны, в процессе производства брикетов, плотность, как и теплотворная способность, становятся примерно одинаковыми.

Согласно действующему ГОСТу «Биотопливо твердое», топливные брикеты класса А1(высший сорт) должны иметь теплотворную способность от 15,5 МДж/кг и выше, по нашим данным теплотворность топливных брикетов, полученных в ходе нашего эксперимента составляет по сосне 19,4 МДж/кг, и по тополи 16,9 МДж/кг, что позволяет их отнести к классу А1. По зольности брикеты сосны также относятся к классу А1(до 0,7%), а брикеты тополя относятся к классу В (3,0 и выше%). Однако если улучшить качество производства, то показатель зольности можно значительно уменьшить.

Массовая теплотворная способность по всем древесным породам имеет близкие значения, так как обусловлена содержанием древесинного вещества, которое имеет плотность 1,54 г/см³ независимо от породы. Объективнее в этом отношении является объемная теплотворная способность. И в этом случае результат зависит от плотности твердого топлива. И если плотность дров практически не регулируется, то при производстве топливных брикетов возможно плотность и соответственно теплотворную способность (объемную) можно увеличить. Для брикетов из сосны она составила 3885,4 ккал/дм³, из тополя – 3319,4 ккал/дм³.

Запас стволовой древесины на участках неодинаков и составляет от 174,6 до 694,6 м³/га. Общие запасы сырья на площади 3,1 га составляют 1041 м³, из которых получится 482,7 тонн брикетов. Затраты на производство 1 тонны топливных брикетов из тополя составили 4156 руб. Прибыль от реализации всего объема продукции – 896200 руб. Рентабельность – 44,4 %.

С учетом полученных результатов, производство топливных брикетов из древесины тополя является перспективным и экономически целесообразным.

Литература

1. Назаренко Л.В., Биотопливо: история и классификация его видов. Актуальные проблемы естествознания // Вестник МГПУ. 2012. № 2 (10). 16 - 32 с
2. Мелехов В.И. Качественные характеристики древесины сосны в культурах: учеб. пособие для вузов / В.И. Мелехов, Н.А. Бабич, С.А. Корчагов. - Архангельск: Изд-во Арханг. гос. техн. ун-та, 2005. - 116 с.
3. Методы изучения лесных сообществ. - СПб.: НИИХимии СПбГУ, 2002. - 240 с.
4. Савина П.А. Лесоводственно-таксационная оценка насаждений тополя бальзамического в условиях засушливой степи Алтайского края / П. А. Савина // Вестник молодежной науки Алтайского государственного аграрного университета. – 2021. – № 2. – С. 15-19.
5. Савина, П. А. Формирование насаждений тополя бальзамического в Барнаульском ленточном бору / П. А. Савина // Молодежь - Барнаулу : Материалы XXIII городской научно-практической конференции молодых ученых, Барнаул, 01–30 ноября 2021 года / Гл. редактор В.В .Гудков. – Барнаул: Алтайский государственный университет, 2022. – С. 46-47.

ЕСТЕСТВЕННОЕ ЛЕСОВОССТАНОВЛЕНИЕ ПОСЛЕ ВЫБОРОЧНЫХ РУБОК В СВЕЖИХ ЖЕЛТОБЕРЕЗОВЫХ СМЕШАННЫХ ЛЕСАХ ЧУГУЕВСКОГО ЛЕСНИЧЕСТВА ПРИМОРСКОГО КРАЯ

И.Д. Соловьев, О.Ю. Приходько, *Kravchenko_olia@list.ru*

ФГБОУ ВО Приморская ГСХА, г. Уссурийск

Введение. Естественное лесовосстановление является важным биологическим процессом. Оно играет важную роль в планировании и организации мероприятий по воспроизводству лесов. Состав и структура подроста, состояние подлеска и живого напочвенного покрова определяют характер лесовосстановительных сукцессий. Своевременная работа по учёту и корректировке лесовосстановления создает условия, в том числе и для реализации принципов устойчивого лесопользования [5, 6, 7, 11].

На сегодняшний день остается дискуссионным вопрос о целесообразности искусственного лесовосстановления в условиях Приморского края, многие специалисты считают, что природные условия региона благоприятны для естественного лесовосстановления и искусственного здесь не требуется. Выбор стратегии лесопользования в пользу естественного восстановления лесов должен быть подкреплён чётким представлением об особенностях лесовосстановительных процессов, протекающих в конкретных лесорастительных условиях [2, 3, 4, 8, 9].

Естественное восстановление лесов осуществляется вследствие как природных процессов, так и мер содействия лесовосстановлению. Важнейшими критериями при выборе метода возобновления лесов являются величина затрат, рентабельность, а также гарантии успеха. Сохранение подроста при лесозаготовках способствует сокращению срока выращивания спелого леса на 10–15 лет, а также сокращению затрат на технику, семена и посадочный материал, уменьшению затрат труда и средств, необходимых на создание лесных культур [1, 7]. Там, где сохранено достаточное количество подроста при разработке лесосек, гарантируется воспроизводство леса хозяйственно ценными породами и не требуется других лесовосстановительных мероприятий [10, 13].

Целью настоящей работы является анализ успешности естественного лесовосстановления после выборочных рубок в свежих желтоберезовых смешанных лесах Чугуевского лесничества Приморского края.

Объекты и методы. Исследования по учету подроста проведены в 2022 г. на территории Чугуевского лесничества КГКУ «Приморское лесничество» на зимней лесосеке добровольно-выборочных рубок 2019 г. высокой интенсивности в спелых желтоберезовых смешанных лесах⁴ 7 класса возраста.

Чугуевское лесничество расположено в центральной части Приморского края. Площадь лесничества составляет примерно 1,2 млн.га. Все лесничество относится к зоне хвойно-широколиственных лесов, Приамурско-Приморскому хвойно-широколиственному району, к 16 зоне лесосеменного районирования⁵.

Подсчёт подроста проводили на круговых пробных площадках площадью 10 м², всего на лесосеке было заложено 30 пробных площадок на пасаках и волоках по ходовым линиям.

По состоянию подрост делили на три категории: жизнеспособный, сомнительный и сухой. В соответствии с общепринятыми классификациями [7] подрост делили: 1) по высоте –

⁴ Справочник лесостроителя Дальнего Востока. – Хабаровск. – 1973. – 226 с.

⁵ Регламент Чугуевского лесничества www.primorsky.ru/authorities/executive-agencies/departments

на три категории крупности: мелкий до 0,5 м., средний – 0,51-1,5 м. и крупный – более 1,5 м.; при переводе количества подроста в крупный использовали коэффициенты: для мелкого – 0,5, среднего – 0,8; 2) по густоте – на четыре категории: редкий – до 2 тыс., средней густоты – 2,1-4 тыс., густой – 4,1-6 тыс. растений на 1 гектаре и очень густой – более 6 тыс.шт./га; 3) по распределению на площади – на три категории в зависимости от встречаемости: равномерный – встречаемость свыше 65 %; неравномерный – встречаемость 40-65 %; групповой (не менее 10 штук мелких или 5 штук средних и крупных экземпляров жизнеспособного и сомкнутого подроста).

Результаты и их обсуждение.

Работы по учету подроста были проведены на лесосеке добровольно-выборочных рубок 2019 г., характеристика которой приведена в табл.1.

Таблица 1 – Местоположение и характеристика участка проведения исследований

Кв/выд	S, га	Породный состав	Тип леса	Бонитет	Полнота	Интенсивность рубки, %	Объем заготовки, м ³	Класс возраста	Период рубки
148 / 5	86,2	4БжЗЛп2Е1П +Яс+И+Ос+Бб	БЖ2	IV	0,7	50	1225	7	зима

По технологической карте лесосечных работ мероприятием по обеспечению лесовосстановления на вырубке служило сохранение существующего подроста (табл. 2).

Таблица 2 – Мероприятия по обеспечению лесовосстановления согласно технологической карте лесосеки

Кв/выд	Площадь, га	Породный состав подроста	Средняя высота подроста, м	Кол-во, тыс.шт. подроста до рубки/га	Планируемые мероприятия по лесовосстановлению
148 / 5	86,2	4ЕЗБжЗП	2,0	3,0	сохранение подроста

По результатам акта осмотра лесосеки, составленного в мае 2020 г. сохранность подроста, обеспечивалась в пределах 67 % (табл. 3).

Таблица 3 – Сохранность подроста в результате разработки лесосеки по акту осмотра

Кв/выд	Площадь, га	Полнота насаждения	Породный состав подроста	Средняя высота подроста, м	Кол-во, тыс.шт. подроста после рубки/га
148 / 5	86,2	0,5	4ЕЗБжЗП	2,0	2,0

По результатам наших учетов количество подроста на лесосеках оказалось выше указанного в документах (табл.4).

Таблица 4 – Количество подроста после проведения выборочных рубок

Наименование вида	Количество мелкого / среднего / крупного подроста на 30 площадках, шт.		
Ель аянская – <i>Picea ajanensis</i> (Lindl. et Gord.) Fisch. ex Carr.	12	7	7
Пихта почкочешуйная – <i>Abies nephrolepis</i> (Trautv.) Maxim.	7	11	4
Береза плосколистная – <i>Betula platyphylla</i> Sucacz.	9	8	8
Береза желтая – <i>Betula costata</i> Trautv.	5	3	3
Береза даурская – <i>Betula davurica</i> Pall.	10	7	6
Ясень маньчжурский – <i>Fraxinus mandshurica</i> Rupr.	9	9	14
Ильм японский – <i>Ulmus japonica</i> (Rehd.) Sarg.	4	6	3
Дуб монгольский – <i>Quercus mongolica</i> Fisch. ex Ledeb.	19	13	9
Тополь дрожащий – <i>Populus davidiana</i> Dode	8	12	5
Клен мелколистный – <i>Acer mono</i> Maxim.	7	9	4
Ольха волосистая – <i>Alnus hirsuta</i> (Spach) Turcz. et Rupr.	3	1	1
Черемуха Маака – <i>Padus maakii</i> (Rupr.) Kom.	3	5	4
Липа амурская – <i>Tilia amurensis</i> Rupr.	20	17	20
Итого:	116	108	88

Сохраненный подрост, как правило, жизнеспособный, равномерно расположенный на пасаках. В результате рубки части древостоя, в окнах полога появляются инициальные виды (аралия, бузина), активнее разрастается живой напочвенный покров (осоки, лабазник, ландыш, василистник, майник, папоротники, очиток, полынь и лесное разнотравье), усиливаются конкурентные взаимоотношения между видами, в подобных условиях появление всходов основных лесообразователей весьма затруднительно.

На обследуемых участках был отмечен густой и средней густоты подлесок (табл. 5).

Таблица 5 – Обилие подлеска на лесосеке по шкале Друде

Наименование вида	Обилие видов
Аралия высокая – <i>Aralia elata</i> (Mig.) Seem.	sol
Бересклет большекрылый – <i>Euonymus macroptera</i> Rupr.	sp
Бузина кистистая – <i>Sambucus racemosa</i> L.	sp
Леспедеца двуцветная – <i>Lespedeza bicolor</i> Turcz.	sp
Лещина маньчжурская – <i>Corylus mandshurica</i> Maxim.in Rupr. et Maxim.	cop1
Лимонник китайский – <i>Schizandra chinensis</i> (Turcz.) Baill.	sp
Чубушник тонколистный – <i>Philadelphus tenuifolius</i> Rupr.et Maxim.	cop1
Рябинник рябинолистный – <i>Sorbaria sorbifolia</i> (L.) A.Braun	cop1
Виноград амурский – <i>Vitis amurensis</i> Rupr.	sp
Калина Саржента – <i>Viburnum sargentii</i> Koehne	sp

При пересчёте количества подроста на гектар и переводе его в крупный получается, что количество жизнеспособного подроста на вырубках достаточно для формирования будущего древостоя⁶ (табл. 6) исходного типа леса.

Таблица 6 – Сводная таблица по учету подроста

Количество подроста до рубки, тыс.шт. / га	Количество подроста по акту приемки лесосеки, тыс.шт./га	Количество подроста по результатам учета в 2022 г.: всего / в пересчете на крупный, тыс.шт. / га
3,0	2,0	10,3 / 7,7

Заключение. Проведенные нами исследования показали, что, при грамотно проведенных выборочных рубках сохраняется существующий подрост, который способен сформировать будущий древостой исходного типа леса. Важно вести учет сохраненного подроста и проводить своевременные уходы за ним. В случае недостаточного количества сохраненного подроста следует помнить, что открывающиеся окна в древостое способствуют интенсивному разрастанию травянистой растительности, которая препятствует прорастанию семян древесных пород. Отрицательное воздействие на возобновление оказывает и захламливание вырубок – ухудшаются условия для последующих генераций.

Литература

1. Абанин, Е.Н. Правовое регулирование восстановления природных ресурсов в контексте устойчивого развития (на примере лесовосстановления) / Е.Н. Абанин, Д.А. Агапов, О.Ю. Ганюхина, А.Н. Устинова // Аграрное и земельное право. – № 12 (180). – 2019. – 190-193.
2. Белова, Е. И. Опыт оценки естественного лесовосстановления на сплошных вырубках по временным рядам Landsat / Е. И. Белова, Д. В. Ершов // Лесоведение. – 2015. – № 5. – С. 339-345.

⁶ Приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 29.12.2021 № 1024 «Об утверждении Правил лесовосстановления, формы, состава, порядка согласования проекта лесовосстановления, оснований для отказа в его согласовании, а также требований к формату в электронной форме проекта лесовосстановления»

3. Беляева, Н. В. Влияние мер содействия естественному лесовозобновлению на появление подроста хвойных пород после сплошных рубок в разных типах леса / Н. В. Беляева, Е. С. Горбачева // Актуальные проблемы лесного комплекса. – 2011. – № 28. – С. 8-15.
4. Ковалев, А. П. Концептуальные основы ведения лесного хозяйства в кедрово-широколиственных лесах Дальнего Востока - ареале обитания амурского тигра / А. П. Ковалев, А. Ю. Алексеенко, Е. В. Лашина // Лесохозяйственная информация. – 2020. – № 4. – С. 72-80. – DOI 10.24419/LHI.2304-3083.2020.4.07.
5. Ковалев, А. П. Об эффективности восстановления лесов на Дальнем Востоке / А. П. Ковалев, С. В. Шелопугина, А. Г. Матвеева // Вестник Тихоокеанского государственного университета. – 2015. – № 2(37). – С. 23-28.
6. Ковалев, А.П. О перспективах эффективного лесопользования лесов на Дальнем Востоке / А.П. Ковалев // Состояние лесов и актуальные проблемы лесопользования: материалы Всероссийской конференции с международным участием. – Хабаровск, 2013. – С. 39-43
7. Приходько, О. Ю. Естественное лесовозобновление после выборочных рубок в лиственных лесах Приморского края / О. Ю. Приходько, О. Р. Федоров, Т. А. Бычкова // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Лес. Экология. Природопользование. – 2021. – № 4(52). – С. 32-41. – DOI 10.25686/2306-2827.2021.4.32.
8. Приходько, О.Ю. Лесовосстановление в Приморском крае: история и современное состояние / О.Ю. Приходько // Проблемы устойчивого управления лесами Сибири и Дальнего Востока. Материалы Всероссийской конференции с международным участием, посвященной 75-летию образования Дальневосточного научно-исследовательского института лесного хозяйства. – Хабаровск, 2014. – С. 332-335.
9. Румянцев, А.О. Естественное лесовозобновление в условиях кедрово-широколиственных лесов Приморского края / А.О. Румянцев, Т.А. Бычкова, О.Ю. Приходько // Интенсификация использования и воспроизводства лесов Сибири и Дальнего Востока. Материалы Всероссийской научной конференции, посвященной 80-летию образования Дальневосточного научно-исследовательского института лесного хозяйства. – Хабаровск, 2019. – С. 71 – 76.
10. Савченкова, В. А. Влияние живого напочвенного покрова на процессы естественного возобновления вырубок / В. А. Савченкова // Актуальные проблемы лесного комплекса. – 2005. – № 11. – С. 36-39.
11. Савченкова, В. А. Закономерности естественного возобновления основных лесобразующих пород на вырубках в условиях Приангарья: специальность 06.03.02 «Лесоведение, лесоводство, лесоустройство и лесная таксация»: автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора сельскохозяйственных наук / Савченкова Вера Александровна. – Москва, 2012. – 31 с.
12. Усенко, Н.В. Деревья, кустарники и лианы Дальнего Востока: справочная книга / Н.В. Усенко. – 3-е изд. перераб. и доп. – Хабаровск: «Приамурские ведомости», 2010. – 272 с.
13. Швиденко, А.З. Переход к устойчивому управлению лесами России: теоретико-методические предпосылки / А.З. Швиденко, Д.Г. Щепашенко, Ф. Кракснер, А.А. Онучин, // Сибирский лесной журнал. – 2017. – № 6. – С. 3-25.

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ДРЕВЕСИНЫ СОСНЫ В КАМЕНСКОМ ЛЕСНИЧЕСТВЕ АЛТАЙСКОГО КРАЯ

Цаан К.Ф., Савин М.А., *k.caan@mail.ru*

Алтайский государственный аграрный университет, г. Барнаул

Широкое использование древесины в строительстве для изготовления несущих элементов, высокие требования к пиломатериалам для изготовления клееных деревянных конструкций вызывают необходимость исследования свойств и строения древесины, возможности их идентификации современными физическими методами неразрушающего контроля непосредственно в технологических процессах [1,6].

Наибольший интерес вызывают исследования физико-механических свойств древесины сосны, формирующиеся в различных условиях роста. Изучением взаимосвязи свойств древесины сосны занимались такие лесоводы как Г.Ф. Морозов, М.Е. Ткаченко, В.Н. Сукачев и др. От условий местопроизрастания напрямую зависит такой показатель, как содержание поздней древесины в стволе дерева [2].

Цель – выявить закономерности изменения физико-механических свойств древесины сосны в спелых древостоях лесостепи Алтайского края.

Задачи исследования:

1. Дать характеристику основным таксационным показателям древостоя.
2. Оценить качество древесных стволов.
3. Изучить макростроение и качество древесины сосны.
4. Оценить физико-механические свойства древесины.

Материалы и методы исследования. Оценка таксационных показателей проводилась по стандартным методикам на территории Каменского лесничества Столбовского участкового лесничества, в чистых сосновых насаждениях естественного происхождения [3,5]. Для исследования были заложены пробные площади в двух типах лесорастительных условий (сухокустарниковый тип леса и разнотравный). Исследование физико-механических свойств проводилось по ГОСТ 16483.1-84, ГОСТ 16483.18-72.

Результаты исследований.

Исследуемые насаждения являются перестойными и высокополнотными. Класс бонитета – II-III. Запас древесины составляет 496-549 м³/га. Средний прирост в сухокустарниковом типе леса составляет 4,36-4,43 м³/га, в разнотравном – 4,32-4,78 м³/га.

Распределение деревьев по категориям технической ценности: доля дровяных стволов выше в разнотравном типе леса и составляет 35,5-55,8% от общего числа живых деревьев, в сухокустарниковом типе дровяные стволы составляют 25,6-28,1%. На всех исследуемых участках преобладают полуделовые стволы.

Для оценки физико-механических свойств дерева распределены в зависимости от положения в пологе. В древостоях преобладает II класс роста, что говорит о нормальном строении древостоев. Средний класс роста и развития по Крафту составляет II,5-II,7 в сухокустарниковом типе леса и II,3-II,4 в разнотравном типе леса [4].

При изучении макростроения древесины сосны было замечено, что толщина ежегодного прироста древесины уменьшается, а количество годичных слоев увеличивается от лидеров к деревьям нижнего полога.

Содержание поздней древесины является одним из показателей пригодности древесины для использования в промышленности. Её содержание не должно быть менее 20% [2]. Положение дерева в пологе насаждения на долю поздней древесины оказывает несущественное влияние.

В среднем по древостою древесина в сухокустарниковом типе леса отличается меньшим содержанием поздней древесины (33,4-33,8%), в разнотравном типе её доля составляет 35,7-36,8 %. Полученные данные, доказывают возможность регулирования качественных параметров древесины за счет технологий выращивания, прежде всего – полноты древостоя.

Свойства древесины определенные по средней модели представлены в таблице 1.

Таблица 1. Физико-механические свойства сосны по средней модели

№ПП	Возраст, лет	Плотность (W ₀), кг/м ³	Влажность, %	Усушка,%	Коеф-т усушки	Толщина годичного слоя, мм	Доля поздней древесины, %	Прочность, МПа	
								на сжатие	на изгиб
Сухокустарниковый тип леса (СК)									
1	125	495,5	33,3	5,0	0,16	1,8	27,1	46,3	93,9
2	115	536,7	45,6	4,5	0,15	1,3	28,7	47,2	96,2
Разнотравный тип леса (РТ)									
3	115	532,7	88,5	10,6	0,35	1,7	28,8	47,3	96,3
4	115	525,4	64,8	11,8	0,39	2,0	24,9	44,9	90,9

Плотность древесины в абсолютно сухом состоянии составила 495,5-536,7 кг/м³ (СК) и 525,4-532,7 кг/м³ (РТ). Влажность древесины – 33,3-45,6% (СК) и 64,8-88,5% (РТ). Усушка составила для сухокустарникового типа леса – 4,5-5,0%, для разнотравного – 10,6-11,8%. Коэффициент усушки в сухокустарниковом типе составил 0,15-0,16; в разнотравном – 0,35-0,39. По прочности четкой зависимости от условий произрастания не прослеживается. Прочность на сжатие – 44,9-47,3 МПа, на изгиб – 90,9-96,3 МПа.

Физико-механические свойства древесины сосны имеют близкие значения вне зависимости от типа леса и удовлетворяют требованиям, предъявляемым к древесине цельнодеревянных элементов и слоям клееных конструкций.

На территории лесничества с целью получения древесины высокого качества рекомендуется своевременное проведение лесохозяйственных мероприятий в виде рубок ухода. Данное мероприятие окажет содействие естественному возобновлению древостоя, позволит снизить густоту, увеличить световой прирост и как следствие повысить производительность древостоев и окажет положительное влияние на физико-механические свойства древесины. Достижение оптимальной полноты насаждения, путем проведения рубок, предоставит возможность выращивания высококачественных древостоев с выходом лучших сортиментов.

Литература

1. Лонгетюд Ф., Моте Ф., Бахшиева М.А. и др. Исследование процесса идентификации древесных пород по макроскопическим признакам с использованием компьютерной томографии // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2013. Вып. 202. С. 158–167.
2. Мелехов В.И. Качественные характеристики древесины сосны в культурах: учеб. пособие для вузов / В.И. Мелехов, Н.А. Бабич, С.А. Корчагов. - Архангельск: Изд-во Арханг. гос. техн. ун-та, 2005. – 116 с.
3. Методы изучения лесных сообществ. - СПб.: НИИХимии СПбГУ, 2002. – 240 с.
4. Цаан К. Ф. Продуктивность естественных сосняков влажных типов леса в среднеобском бору / К. Ф. Цаан // Вестник молодежной науки Алтайского государственного аграрного университета. – 2021 – № 2 – С. 28-31.
5. Цаан К. Ф. Рост и формирование естественных сосняков влажных типов леса в среднеобском бору / К. Ф. Цаан // European science forum: сборник статей VIII Международной научно-практической конференции, Петрозаводск, 20 декабря 2021 года. – Петрозаводск: Международный центр научного партнерства «Новая Наука» (ИП Ивановская И.И.), 2021 – С. 291-295.
6. Чубитинский А. Н., Тамби А. А., Варанкина Г. С. и др. Физические методы испытаний древесины. СПб.:СПбГЛТУ, 2015. – 125 с.

**Вопросы геологии и комплексного изучения экосистем
Восточной Азии**

**Шестая Всероссийская научная конференция
с международным участием
(04-07 октября 2022 г., г. Благовещенск)**

Сборник докладов
Электронное издание

Составитель сборника
к.б.н. Леусова Наталья Юрьевна

Утверждено к изданию Ученым советом ИГиП ДВО РАН

Технический редактор
Полякова Юлия Владимировна
Доклады печатаются в авторской редакции и
не проходят дополнительной корректуры

675000, Благовещенск, пер. Релочный, 1 ИГиП ДВО РАН